ايكاو

Doc 9889

دليل نوعية هواء المطارات

الطبعة الثانية ــ ٢٠٢٠

اعتمدته الأمينة العامة ونشر بموجب سلطتها

منظمة الطيران المدني الدولي

ايكاو

Doc 9889

دليل نوعية هواء المطارات

الطبعة الثانية – ٢٠٢٠

اعتمدته الأمينة العامة ونشر بموجب سلطتها

منظمة الطيران المدني الدولي

تنشُـــر هذه الوثيقة في طبعات منفصـــلة باللغات العربية
والإسبانية والإنجليزية والروسية والصينية والفرنسية
منظمة الطيران المدني الدولي
999 Robert-Bourassa Boulevard, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

للحصول على المعلومات المتعلقة بتقديم طلبات الشراء، والاطلاع على قائمة بأسماء جميع وكلاء البيع وبائعي الكتب، يرجى زيارة موقع الايكاو على الرابط www.icao.int

الطبعة الأولى – ٢٠١١

الوثيقة رقم 9889 Doc، *دليل نوعية هواء المطارات*
Order Number: 9889
ISBN 978-92-9265-328-6

© ICAO 2021

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذا المنشور أو تخزينه في نظام لاسترجاع الوثائق أو تداوله في أي شكل أو بأي وسيلة، دون الحصول على إذن كتابي مسبق من منظمة الطيران المدني الدولي.

التعديلات

تُعلن التعديلات في *ملاحق كتالوج المنتجات والخدمات*. ويمكن الاطلاع على الكتالوج وملاحقه في موقع الايكاو على الانترنت عبر الرابط www.icao.int. والجدول أدناه مخصص لتسجيل مثل هذه التعديلات.

سجل التعديلات والتصويبات

التعديلات		
الرقم	التاريخ	أدخل بواسطة

التصويبات		
الرقم	التاريخ	أدخل بواسطة

جدول المحتويات

الصفحة

تمهيد ..... **(ix)**

المسرد ..... **(xi)**

الأسماء المختصرة والمختصرات ..... **(xiii)**

منشورات الايكاو ..... **(xvii)**

الفصل الأول – المقدمة **1-1**

١-١ الهدف 1-1
١-٢ اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران 1-1
١-٣ خلفية 1-2
١-٤ تقييم نوعية الهواء 1-2

الفصل الثاني — الإطار التنظيمي والدوافع **2-1**

٢-١ مقدمة 2-1
٢-٢ الدوافع إلى العمل 2-2
٢-٣ لوائح نوعية الهواء المحلي وتنظيم الملوِّثات 2-3
٢-٤ معايير ولوائح انبعاثات محركات الطائرات والسيارات 2-6
٢-٥ اللوائح وأهداف التكنولوجيا المتغيّرة 2-8
٢-٦ الاستجابات التنظيمية 2-8

الفصل الثالث — حصر الانبعاثات **3-1**

٣-١ مقدمة 3-1
٣-٢ بارامترات حصر الانبعاثات 3-2
٣-٣ أنواع الانبعاثات 3-3
٣-٤ مصادر الانبعاثات المتصلة بالمطارات 3-4
٣-٥ الانبعاثات المحلية والإقليمية 3-5
٣-٦ ضمان الجودة 3-6
٣-٧ التنبؤ 3-6

المرفق ١ منهجيات تقدير انبعاثات محركات الطائرات **3-A1-1**

المرفق ٢ انبعاثات الخدمات الأرضية للطائرات **3-A2-1**

المرفق ٣ مصادر الانبعاثات المتصلة بالهيكل الأساسي والثابتة **3-A3-1**

المرفق ٤ انبعاثات حركة المركبات **3-A4-1**

الصفحة

الفصل الرابع — التوزيع الزماني والمكاني للانبعاثات 4-1

٤-١ مقدمة..... 4-1
٤-٢ اعتبارات التوزيع العام للانبعاثات..... 4-2
٤-٣ التوزيع المكاني 4-5
٤-٤ التوزيع الزماني..... 4-6
٤-٥ استخدام نماذج الحاسوب 4-6
٤-٦ تشكيل البيانات والإبلاغ عنها..... 4-7

الفصل الخامس — إعداد نماذج التشتّت 5-1

٥-١ مقدمة..... 5-1
٥-٢ المتطلبات والدوافع الخارجية..... 5-1
٥-٣ مفاهيم التشتّت العامة..... 5-2
٥-٤ مدخلات النماذج المطلوبة..... 5-4
٥-٥ حساب التشتت..... 5-8
٥-٦ مخرجات النماذج..... 5-11
٥-٧ تطبيق إعداد النماذج وتفسير النتائج..... 5-11

المرفق ١ لمحة عامة لمنهجيات إعداد نماذج التشتت 5-A1-1

المرفق ٢ نماذج التشتت شائعة الاستعمال بالقرب من المطارات..... 5-A2-1

المرفق ٣ مصادر المعلومات المناخية 5-A3-1

الفصل السادس — قياسات نوعية الهواء المحيط للمطارات 6-1

٦-١ مقدمة..... 6-1
٦-٢ متطلبات ودوافع قياسات نوعية الهواء 6-1
٦-٣ خطة القياس 6-2
٦-٤ تحليل البيانات 6-6
٦-٥ ضمان جودة/مراقبة جودة القياس..... 6-9

المرفق ١ وصف أساليب القياس المختارة 6-A1-1

المرفق ٢ أمثلة لأساليب القياس 6-A2-1

المرفق ٣ المراجع (مجموعة مختارة) 6-A3-1

الفصل السابع — خيارات التخفيف 7-1

٧-١ مقدمة..... 7-1
٧-٢ منهجية تخطيط التخفيف 7-1
٧-٣ خيارات التخفيف..... 7-5

المرفق للفصل السابع — المراجع 7-A1-1

الصفحة

الفصل الثامن — العلاقات المتبادلة المرتبطة بأساليب تخفيف الآثار البيئية 8-1

٨–١ مقدمة..... 8-1
٨–٢ توصيات لتقييم التكافلات 8-2
٨–٣ العلاقات المتبادلة التشغيلية للعمليات الأرضية 8-2
٨–٤ العلاقات المتبادلة التشغيلية بالنسبة لعمليات المغادرة..... 8-4
٨–٥ العلاقات المتبادلة التشغيلية بالنسبة لعمليات الوصول..... 8-4
٨–٦ أمثلة محددة — كتاب الايكاو الدوري رقم Cir 317 8-7

المراجع

تمهيد

١- يتناول هذا الدليل مجالاً متطوراً للمعرفة ويمثّل المعلومات المتوافرة حالياً الراسخة بقدر كاف لتسويغ إدراجها في إرشادات دولية. ويتناول هذا الدليل مسائل تتعلق بتقييم نوعية الهواء المتصلة بالمطارات إما تندرج على وجه التحديد ضمن اختصاص منظمة الطيران المدني الدولي (الايكاو) (مثل انبعاثات المحركات الرئيسية) وإما يوجد فهم راسخ لمصادر أخرى غير الطائرات (مثل الغلايات ومعدات الدعم الأرضي وحركة السير على الطريق) ستسهم، بقدر ما، في التأثير على نوعية الهواء.

٢- هناك مسائل مصادر انبعاثات محتملة ذات صلة بهذا الدليل ولكنه لا يتناولها (مثل آثار السرعة إلى الأمام للطائرات وتأثير الأحوال المحيطة على انبعاثات الطائرات وانبعاثات بدء تشغيل الطائرات واستهلاك مكابح وإطارات الطائرات) تم تحديدها وتخضع للمزيد من الاستقصاء من جانب الايكاو أو الدول الأعضاء أو المنظمات المراقبة أو منظمات الخبراء الأخرى، مع أخذ الخبرة العملية في الحسبان.

٣- تتضمن هذه الطبعة الثانية من الدليل فصولاً بشأن الإطار التنظيمي والدوافع لعمليات قياس نوعية الهواء المحلي، وممارسات حصر الانبعاثات والتوزيع الزماني والمكاني للانبعاثات، وقائمة حصر الانبعاثات المكتملة (بما في ذلك نهج تفصيلي متطوّر لحساب انبعاثات الطائرات)، وإعداد نماذج التشتّت، وقياسات المطارات، وخيارات التخفيف، والعلاقات المتبادلة المرتبطة بأساليب التخفيف من الآثار البيئية. وفي الوثيقة بأكملها، تُقدَّم إحالات إضافية من أجل من يهتمون ببحث هذه المواضيع بمزيد من التفصيل.

٤- يُقصد بهذه الوثيقة أن تكون وثيقة حيّة، ومع توافر المزيد من المعارف بشأن هذا الموضوع، سيتم تحديث الوثيقة بناء على ذلك. وستُحظى بالتقدير التعليقات على هذا الدليل، وخصوصاً فيما يتعلق باستخدامه وفائدته. وستؤخذ هذه التعليقات في الحسبان عند إعداد الطبعات التالية. وينبغي إرسال التعليقات بشأن هذا الدليل إلى:

The Secretary General
International Civil Aviation Organization
999 Robert-Bourassa Boulevard
Montréal, Quebec H3C 5H7
Canada

المسرد

فوق مستوى سطح الأرض — ارتفاع فوق منسوب المدرج أو الأرض المعروف.

وحدة تكييف الهواء — وحدة ضاغط ذاتية الحركة أو مركّبة على مقطورة لتزويد الطائرات بالهواء المكيّف مسبقاً أثناء الوقت الذي تقضيه على الأرض.

مُستجمَع الهواء — كتلة من الهواء تتصرف بطريقة متساوقة فيما يتعلق بتشتت الانبعاثات. ولغرض دراسات التشتت التي تُجرى بنماذج رقمية، يمكن لذلك اعتبارها وحدة تحليلية وإدارية مفردة.

وحدة الطاقة الإضافية — وحدة طاقة قائمة بذاتها موجودة على مركبة هوائية وتوفر الطاقة الكهربائية/ الهوائية لأجهزة المركبة أثناء العمليات الأرضية أو أثناء الطيران بمعزل عن محرك (محركات) الدفع.

ثاني أكسيد الكربون (CO_2) — غاز ينشأ طبيعيا وهو أيضا منتج جانبي لاحتراق أنواع الوقود الأحفوري والكتلة الحيوية والتغييرات في استخدام الأراضي وغير ذلك من العمليات الصناعية. ويعتبر ثاني أكسيد الكربون الغاز المرجعي الذي على أساسه يتم قياس قدرات غازات الدفيئة الأخرى على إحداث الإحترار العالمي. الآثار: مساهمته في تغيّر المناخ.

أول أكسيد الكربون (CO) — غاز عديم اللون وعديم الرائحة يتكوّن خلال الاحتراق غير الكامل لأنواع وقود التدفئة والمحرّكات. الآثار: لأول أكسيد الكربون مفعول سمّ تنفّسي للبشر والحيوانات ذوات الدماء الحارّة. ويؤدي دوراً في تكوّن الأوزون في الغلاف الجوي الحُرّ.

نظام المراقبة البيئية — يتم تزويد عبوات تكييف الهواء للطائرة بالهواء المنفَّس من وحدة طاقة إضافية، وهي العبوات التي تزوّد المقصورة بالهواء المكيّف. ولاختبار الانبعاثات فإن حالة حمولة التنفيس مضبوطة من أجل التشغيل المعتاد للطائرة عند البوابة (على نحو يتوقف على طراز الطائرة وحجمها) وعادة ما تتضمن بعض الحمولة (الكهربائية) للمهواة.

نظام الطاقة الثابت — نظام في مواقف الطائرات (البعيدة أو على ركائز) يوفّر الطاقة المُنتجة مركزياً (الكهربائية والهواء المكيّف مسبقاً أحياناً) للطائرات خلال وقت بقائها على الأرض.

وحدة الطاقة الأرضية — توفّر القدرة الكهربائية للطائرات خلال وقت بقائها على الأرض.

معدات المساندة الأرضية — أن مصطلح 'معدات المساندة الأرضية (GSE)' يشير إلى الفئة الواسعة من المركبات والمعدات التي تخدم الطائرات، بما في ذلك تلك المركبات المستخدمة في الجر والصيانة وتحميل وتفريغ الركاب والبضائع، ولتقديم الطاقة الكهربائية، والوقود والخدمات الأخرى للطائرات.

الكيروسين — وقود المحركات النفاثة (مثل وقود الطائرات النفاثة A1).

دورة الهبوط والإقلاع — تتألف دورة الهبوط والإقلاع من أربع مراحل لعمليات الطائرة، أي: الاقتراب والسير والإقلاع والصعود.

أكاسيد النيتروجين — أكاسيد النيتروجين هو اصطلاح عام يشمل ثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد النيتروجين. ولأن أول أكسيد النيتروجين يتأكسد بسرعة ليصبح ثاني أكسيد النيتروجين، يتم التعبير عن الانبعاثات في صيغة مكافئات لثاني أكسيد النيتروجين. وتتكوّن أكاسيد النيتروجين خلال إحراق أنواع وقود التدفئة والمحركات، وخاصة في درجات حرارة مرتفعة. الخصائص: أول أكسيد النيتروجين هو غاز لا لون له، يتحوّل في الغلاف الجوي إلى ثاني أكسيد النيتروجين، ويتخذ ثاني أكسيد النيتروجين لوناً ضارباً إلى الحمرة في التركيزات العالية. الآثار: الاضطرابات التنفسية والضرر البالغ للنباتات والنظم الإيكولوجية الحساسة من خلال المفعول المشترك لعدة ملوّثات (التحمّض) والتسميد المفرط للنظم الإيكولوجية.

الجسيمات الدقيقة — الجسيمات الدقيقة هو الاصطلاح الذي يُستعمل لوصف الجسيمات التي يكون قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل. ومن وجهة النظر الفيزيائية — الكيميائية، فإن الغبار هو خليط مركّب يتألف في الوقت ذاته من مكوّنات منبعثة مباشـــرة ومكوّنات مشكّلة بصورة ثانوية من أصل طبيعي وبشري (مثل السُخام والمادة الجيولوجية والجسيمات المسحوجة والمادة البيولوجية) وهو ذو تركيب متنوع للغاية (معادن ثقيلة، كبريتات، نيترات، نشـــادر، أنواع عضـــوية من الكربون، هيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات، ديوكسينات/فورانات). والجسيمات الدقيقة ٢,٥ ($PM_{2.5}$) هي جسيمات قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل. وهي ذات أهمية بالغة فيما يتعلق بالآثار الصحية. وتتكوّن الجسيمات الدقيقة خلال عمليات الإنتاج الصناعي وعمليات والاحتراق والعمليات الميكانيكية (سحج المواد السطحية وإصدار الغبار سريع الانتشار) وتتكوّن بصورة ثانوية (من ثاني أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين وثالث هيدريد النيتروجين ومواد عضوية متطايرة). الخصائص: جسيمات صلبة وسائلة ذات أحجام وتركيبات متفاوتة. الآثار: يمكن أن تسبّب الجسيمات الدقيقة والسُخام اضطرابات تنفسية وللقلب والأوعية الدموية وزيادة الوفيات وخطر السرطان، ويمكن أن يسبّب ترسّب الغبار تلوّث التربة والنباتات وأيضاً، عن طريق السلسلة الغذائية، تعرّض البشر للمعادن الثقيلة والديوكسينات/الفورانات التي يحتوي عليها الغبار.

الأسماء المختصرة والمختصرات

AAL	Above aerodrome level	فوق مستوى سطح المطار
ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe	المجلس الاستشاري لبحوث الطيران في أوروبا
ACU	Air climate unit	وحدة تكييف الهواء
ADAECAM	Advanced aircraft emission calculation method	الأسلوب المتقدم لحساب انبعاثات الطائرات
ADMS	Atmospheric Dispersion Modelling System (United Kingdom)	نظام لإعداد نماذج التشتت في الجو (المملكة المتحدة)
AEDT	Aviation Environmental Design Tool (United States FAA)	أداة التصميم البيئي للطيران (هيئة الطيران الاتحادية بالولايات المتحدة)
AFR	Air-fuel ratio	نسبة الهواء–الوقود
AGL	Above ground level	فوق مستوى سطح الأرض
ALAQS	Airport Local Air Quality Studies (EUROCONTROL)	دراسات جودة الهواء المحلي للمطارات (يوروكونترول)
AMSL	Above mean sea level	فوق متوسط مستوى سطح البحر
ANSP	Air navigation service provider	مقدِّم خدمات الملاحة الجوية
APMA	Air pollution in the megacities of Asia	تلوّث الهواء في مدن آسيا الضخمة
APU	Auxiliary power unit	وحدة الطاقة الإضافية
ARFF	Airport rescue and fire fighting	الإنقاذ وإطفاء الحرائق في المطار
ARP	Aerodrome reference point	نقطة المطار المرجعية
ASQP	Airline service quality performance	الأداء الجيّد لخدمة شركات الطيران
ASU	Air starter unit	وحدة بدء التشغيل بالهواء
ATA	Air Transport Association	اتحاد النقل الجوي
ATOW	Actual take-off weight	الوزن الفعلي عند الإقلاع
Avgas	Aviation gasoline	غاسولين الطيران
BADA	Base of aircraft data	قاعدة بيانات الطائرات
BFFM2	Boeing fuel flow method 2	أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود
bhp	Brake horsepower	قدرة مكبحية تقاس بالحصان الميكانيكي
BPR	Bypass ratio	نسبة غاز الفتحات الجانبية
BTS	Bureau of Transportation Statistics (United States)	مكتب إحصاءات النقل (الولايات المتحدة)
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection	لجنة حماية البيئة في مجال الطيران
CDO	Continuous descent operations	عمليات النزول المستمر
CERC	Cambridge Environmental Research Consultants (United Kingdom)	خبراء كمبريدج الاستشاريون للبحوث البيئية (المملكة المتحدة)
CH_4	Methane	الميثان
CI	Carbon index	دليل الكربون
CNG	Compressed natural gas (carburant)	غاز طبيعي مضغوط (خليط الهواء والوقود)
CO	Carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
CO_2	Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
DAC	Double annular combustor	غرفة الاحتراق الحلَقية المزدوجة
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs (United Kingdom)	إدارة البيئة والأغذية والشؤون الريفية (المملكة المتحدة)
DfT	Department for Transport (United Kingdom)	إدارة النقل (المملكة المتحدة)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	مركز الطيران والفضاء الألماني
DOAS	Differential optical absorption spectroscopy	التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي
DOT	Department of Transportation (United States)	إدارة النقل (الولايات المتحدة)
EASA	European Aviation Safety Agency	وكالة السلامة الجوية التابعة للاتحاد الأوروبي
ECS	Environmental control system	نظام المراقبة البيئية
EDMS	Emission and Dispersion Modelling System (United States FAA)	نظام نمذجة تشتت الانبعاثات (إدارة الطيران الاتحادية بالولايات المتحدة)
EEA	European Environment Agency	الوكالة الأوروبية للبيئة
EEDB	Engine Emissions Data Bank (ICAO)	بنك بيانات انبعاثات المحركات (الايكاو)
EGT	Exhaust gas temperature	درجة حرارة غاز العادم
EI	Emission index	مؤشر الانبعاثات

EPA	Environmental Protection Agency (United States)	وكالة حماية البيئة (الولايات المتحدة)
ETFMS	Enhanced tactical flow management system (EUROCONTROL)	النظام التكتيكي المحسّن لإدارة الانسياب (يوروكنترول)
ETMS	Enhanced traffic management system (United States)	النظام المعزز لإدارة الحركة (الولايات المتحدة)
EU	European Union	الاتحاد الأوروبي
FAA	Federal Aviation Administration (United States)	إدارة الطيران الاتحادية (الولايات المتحدة)
FAF	Final approach fix	النقطة المحدّدة للاقتراب النهائي
FBO	Fixed-based operator	قاعدة عمليات ثابتة
FDR	Flight data recorder	مسجّل بيانات الرحلة الجوية
FES	Fixed energy system	نظام الطاقة الثابت
FESG	ICAO CAEP Forecasting and Economics Analysis Support Group	مجموعة الدعم بالتنبؤات والتحليل الاقتصـادي التابعة لجنة حماية البيئة في مجال الطيران
FIRE	Factor Information Retrieval Data System (United States EPA)	نظام البيانات لاســترجاع المعلومات عن العوامل (وكالة حماية البيئة – الولايات المتحدة)
FOA	First Order Approximation	التقريب من الدرجة الأولى
FOCA	Federal Office for Civil Aviation (Switzerland)	المكتب الاتحادي للطيران المدني (سويسرا)
FOD	Foreign object damage	الأضرار بسبب أجسام غريبة
FOI	Swedish Defence Research Agency	وكالة بحوث الدفاع السويدية
FSC	Fuel sulphur contents	محتوى الوقود من الكبريت
g	Gram	جرام (جم)
GE	General Electric	جنرال الكتريك
GIS	Geographical information system	نظام المعلومات الجغرافية
GPU	Ground power unit	وحدة الطاقة الأرضية
GSE	Ground support equipment	معدات المساندة الأرضية
GUI	Graphical user interface	التوصيل البياني للمنتفع
h	Hour	ساعة
HAP	Hazardous air pollutant	ملوّث خطير للهواء
HC	Hydrocarbon	مركّب هيدروكربوني
HDV	Heavy-duty vehicle (e.g. truck, bus)	مركبة التشغيل الشاق (مثل الشاحنة، الحافلة)
hp	Horsepower	القدرة الحصانية
Hz	Hertz	هرتز
IAE	International Aero Engines	إنترناشيونال إيرو إنجنز
ICAO	International Civil Aviation Organization	منظمة الطيران المدني الدولي
ICCAIA	International Coordinating Council of Aerospace Industry Associations	المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء
IOAG	International Official Airline Guide	الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
ISA	International Standard Atmosphere	الغلاف الجوي المعياري الدولي
kg	Kilogram	كيلوجرام (كجم)
km	Kilometre	كيلومتر
kN	Kilonewton	كيلونيوتن
kt	Knot	عقدة
KVA	Kilovolt ampere	كيلوفولت أمبير
kW	Kilowatt	كيلواط
LASAT	Lagrangian simulation of aerosol — transport	محاكاة لاغرانج للأيروسول – النقل
LASPORT	LASAT for Airports (Europe)	محاكاة لاغرانج للأيروسول من أجل المطارات (أوروبا)
LPG	Liquefied petroleum gas	غاز البترول السائل
LTO	Landing and take-off	الهبوط والإقلاع
m	Metre	متر
MCLT	Maximum climb-limited thrust	الدفع الأقصى المحدود بالصعود
MES	Main engine start	بدء تشغيل المحرك الرئيسي
min	Minute	دقيقة
MSDS	Material safety data sheet	صحيفة بيانات السلامة المادية

NAAQS	National Ambient Air Quality Standards (United States)	المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط (الولايات المتحدة)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (United States)	الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (الولايات المتحدة)
NGGIP	National Greenhouse Gas Inventories Programme	البرنامج الوطني لجرد غازات الدفيئة
NMHC	Non-methane hydrocarbons	الهيدروكربون غير الميثاني
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds	المركّب العضوي المتطاير غير الميثاني
NO	Nitrogen monoxide	أول أكسيد النيتروجين
NO_x	Nitrogen oxides	أكاسيد النيتروجين
NO_2	Nitrogen dioxide	ثاني أكسيد النيتروجين
NPR	Noise-preferential route	طريق مفضّل من حيث الضوضاء
nvPM	Non-volatile particulate matter	الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة
nvPMmass	Non-volatile particulate matter mass	كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة
nvPMnumber	Non-volatile particulate matter number	عدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة
O_3	Ozone	الأوزون
OPR	Overall pressure ratio	نسبة الضغط الإجمالية
Pb	Lead	الرصاص
PBL	Planetary boundary layer	طبقة الحد الكوكبي
PCA	Pre-conditioned air (for cooling/heating of parked aircraft)	التكييف المسبق للهواء (لتبريد/لتدفئة الطائرات الواقفة)
PLTOW	Performance-limited take-off weight	الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء
PM	Particulate matter	الجسيمات الدقيقة
$PM_{2.5}$	Particulate matter with an aerodynamic diameter of 2.5 micrometres or less	جسيمات دقيقة قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل
PM_{10}	Particulate matter with an aerodynamic diameter of 10 micrometres or less	جسيمات دقيقة قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل
POV	Privately owned vehicle	مركبة مملوكة ملكية خاصة
PPM	Parts per million	أجزاء من المليون
P&W	Pratt & Whitney	برات أند ويتني
RR	Rolls Royce	رولس رويس
s	Second	ثانية
SAE	Society of Automotive Engineers	جمعية مهندسي المحركات
SAEFL	Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape	الوكالة السويسرية للبيئة والغابات والمناظر الطبيعية
SHP	Shaft horsepower	قدرة المحرك بالأحصنة
SN	Smoke number	الرقم الدخاني
SO_x	Sulphur oxides	أكاسيد الكبريت
SO_2	Sulphur dioxide	ثاني أكسيد الكبريت
TAF	Terminal area forecasts (United States)	تنبؤات المنطقة النهائية (الولايات المتحدة)
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance	الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق
THC	Total hydrocarbon	إجمالي هيدروكربون
TIM	Time-in-mode	الوقت المقضي في الطريقة
TOW	Take-off weight	الوزن عند الإقلاع
UFP	Ultrafine particles (particulate matter with an aerodynamic diameter of 0.1 micrometre or less)	الجسيمات الصغيرة جدا (جسيمات دقيقة قطرها الأيروديناميي ٠,١ ميكرومتر أو أقل)
UID	Unique identifier	المعرّف الفريد
UN	United Nations	الأمم المتحدة
UNFCCC	United Nations Framework Convention for Climate Change	اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ
$\mu g/m^3$	Micrograms per cubic metre	ميكروجرامات لكل متر مكعب
V	Volt	فولت
VMT	Vehicle-miles travelled	الأميال المقطوعة بالمركبة
VOC	Volatile organic compounds	مواد عضوية متطايرة
WHO	World Health Organization	منظمة الصحة العالمية

منشورات الايكاو

(المشار إليها في هذا الدليل)

ملاحق اتفاقية الطيران المدني الدولي

الملحق السادس عشر — *حماية البيئة*
المجلد الأول — *ضوضاء الطائرات*
المجلد الثاني — *انبعاثات محركات الطائرات*

إجراءات خدمات الملاحة الجوية

عمليات الطائرات (Doc 8168)
المجلد الأول — *إجراءات الطيران*
المجلد الثاني — *بناء إجراءات الطيران البصري والآلي*

الأدلة

دليل تخطيط المطارات (Doc 9184)
الجزء الأول — *التخطيط العام*
الجزء الثاني — *استخدام الأراضي وإدارة البيئة*
الجزء الثالث — *إرشادات بشأن الخدمات الاستشارية وخدمات البناء*

إرشادات بشأن رسوم انبعاثات الطائرات المتعلقة بنوعية الهواء المحلي (Doc 9884)

قاعدة بيانات الايكاو عن انبعاثات عادم المحركات[1] (Doc 9646)

طريقة موصى بها لحساب كونتورات الضوضاء حول المطارات (Doc 9911)

الفرص التشغيلية للتقليل من استهلاك الوقود وتخفيض انبعاثات الطيران (Doc 10013)

الكتب الدورية للايكاو

آثار إجراءات تخفيف حدة الضوضاء عند المغادرة الواردة في إجراءات خدمات الملاحة الجوية — العمليات على الضوضاء والانبعاثات الغازية (كتاب الايكاو الدوري رقم Cir 317)

تقارير الاجتماعات

تقرير الاجتماع السابع للجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران (Doc 9886)

---

[1]- نفدت طبعات هذه الوثيقة بشكل نهائي. وأصبحت الايكاو توفّر البيانات عن انبعاثات عادم المحركات على الإنترنت على العنوان: http://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank

الفصل الأول

المقدمة

١-١ الهدف

١-١-١ تتضمن هذه الوثيقة مشورة ومعلومات عملية لمساعدة الدول الأعضاء في الايكاو في تنفيذ أفضل الممارسات فيما يتعلق بنوعية الهواء المتصلة بالمطارات. ويتم في الوثيقة بأكملها تناول المعلومات المتصلة بمتطلبات الدول والانبعاثات من مصادر المطارات وقوائم حصر الانبعاثات وتخصيص الانبعاثات.

١-١-٢ توفر هذه الوثيقة أيضاً عملية لتحدّد بها الدول أفضل النهوج والأطر التحليلية لتقييم نوعية الهواء المرتبطة بالمطارات وتحدّد أفضل الممارسات من أجل الاحتياجات أو التصوّرات المختلفة. ولا يُقصد بها أن تكون أساساً لأي إجراء تنظيمي، فهي لا تصف مشاريع أو إجراءات محددة ولا تتناول الجوانب المتصلة بالبحوث لنوعية هواء المطارات.

١-١-٣ لأن هذه المواد الإرشادية أُعدِّت لاحتمال مساعدة جميع الدول الأعضاء في الايكاو في تنفيذ أفضل الممارسات فيما يتعلق بنوعية الهواء المتصلة بالمطارات، فإنها عامة وواسعة النطاق بالضرورة. وبناء على ذلك، فإن بعض الدول قد يكون لديها فعلاً بعض، أو العديد من، العمليات والتدابير القائمة التي تتناولها هذه المواد الإرشادية. وفي مثل هذه الحالات، قد تُستخدم هذه المواد الإرشادية لاستكمال تلك العمليات والتدابير أو تُستخدم كمرجع إضافي.

١-١-٤ بالنظر إلى أن هذه المواد الإرشادية عامة وواسعة النطاق، لا يمكن توقّع أن توفّر مستوى التفصيل اللازم لمساعدة الدول في معالجة كل مسألة قد تنشأ، نظراً لأنه قد توجد أوضاع قانونية أو فنية أو سياسية فريدة مرتبطة بالمطارات و/أو نوعية الهواء في مواقع معينة. وكما هو الحال بالنسبة لأي مواد إرشادية ذات تطبيق عام، يُنصح بأن تستخدمها الدول كمرجع تتم مواءمته لظروف محددة.

١-٢ اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران

١-٢-١ ظلّت الايكاو تُعنى بالانبعاثات المتصلة بالمطارات لسنوات عديدة. وعلى وجه الخصوص، استمرت لجنة الايكاو المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران وسلفها، اللجنة المعنية بانبعاثات محركات الطائرات، منذ أواخر السبعينات في معالجة معايير الانبعاثات لأنواع المحركات الجديدة ومشتقاتها والمحركات المُنتجة حديثاً. وإحدى النتائج الرئيسية المنبثقة عن عملها هي أحكام الايكاو بشأن انبعاثات المحركات في المجلّد الثاني من الملحق السادس عشر لاتفاقية الطيران المدني الدولي ("اتفاقية شيكاغو"). ومن بين مسائل أخرى، تتناول هذه الأحكام إراقة الوقود السائل والدخان وانبعاثات العادم الغازية الرئيسية التالية من المحركات النفاثة: الهيدروكربونات وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون. وعلى وجه التحديد، فهي تضع حدوداً لمقادير الدخان والانبعاثات الغازية لهذه الملوّثات الثلاثة في عادم معظم أنواع المحركات المدنية. وبالإضافة إلى التجديد التكنولوجي ومعايير الترخيص، اتبعت اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران أيضاً نهجين محتملين آخرين لمعالجة انبعاثات الطيران، وهما:

أ) التدابير التشغيلية لميدان الطيران البديل.

ب) الاستخدام الممكن لخيارات تخفيض الانبعاثات القائمة على آليات السوق.

١-٢-٢ أصدرت الايكاو أيضاً وثائق عديدة تتعلق بانبعاثات الطائرات بما في ذلك الوثيقة Doc 9184 والوثيقة Doc 10013 التي حلت محل الكتاب الدوري رقم Cir 303.

١-٢-٣ تقدّم الوثيقة Doc 9184, Part 2 — *استخدام الأراضي وإدارة البيئة* استخدام الأراضي وإدارة البيئة بالقرب من المطارات وتتضمن معلومات عن الخيارات المتاحة للتقليل من الانبعاثات المتصلة بالمطارات وتحسين كفاءات الوقود لمحركات الطائرات.

١-٢-٤ تحدّد الوثيقة Doc 10013 وتستعرض مختلف الفرص والتقنيات التشغيلية للتقليل إلى أدنى حد من استهلاك وقود محركات الطائرات وبالتالي من الانبعاثات المرتبطة بعمليات الطيران المدني. ويعتمد الدليل على المعلومات التي كانت ترد في كتاب الايكاو الدوري Cir 303.

١-٢-٥ في السياق الذي سبق بيانه، أثبتت اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران أنه توجد حاجة تكميلية لوضع مواد إرشادية لمساعدة الدول على تنفيذ أفضل الممارسات المتعلقة بتقييم نوعية الهواء المتصلة بالمطارات، التي هي هدف هذا الدليل.

١-٣ الخلفية

١-٣-١ ظلّ الاهتمام بانبعاثات ملوّثات الهواء من الطائرات والمطارات يزداد منذ الزيادة الكبيرة في حركة الطائرات التوربينية النفاثة التجارية في السبعينات. وعلى سبيل المثال، تنتج عن انبعاثات الطائرات ملوّثات للهواء مثل أكسيد النيتروجين والهيدروكربون والجسيمات الدقيقة الدقيقة، التي يمكن بدورها أن تعني مسائل بيئية أوسع نطاقاً تتصل بالأوزون على مستوى سطح الأرض والأمطار الحمضية وتغيّر المناخ، والمخاطر المحتملة الراهنة المتعلقة بالصحة العامة والبيئة. وعلى خلاف معظم وسائل النقل، تسافر الطائرات لمسافات كبيرة على ارتفاعات مختلفة، وتصدر انبعاثات من المحتمل أن تؤثر على نوعية الهواء في البيئات المحلية والإقليمية والعالمية.

١-٣-٢ تعترف الايكاو بأن مصادر الانبعاثات المتصلة بالمطارات قادرة على إصدار ملوّثات يمكنها أن تسهم في تدهور نوعية هواء المجتمعات المحلية القريبة منها. وتستمر البرامج والمعايير الوطنية والدولية لنوعية الهواء، بصفتها هذه، في مطالبة سلطات المطارات والهيئات الحكومية بمعالجة مسائل نوعية الهواء بالقرب من المطارات. وبالمثل، يجب أيضاً إيلاء الاهتمام للآثار البيئية الممكنة الأخرى المتصلة بالمطارات والمرتبطة بالضوضاء ونوعية المياه وإدارة النفايات واستهلاك الطاقة والإيكولوجيا المحلية بالقرب من المطارات، للمساعدة على ضمان رفاهية العاملين في المطارات ومستخدميها والمجتمعات المحلية المحيطة بها في الأجلين القصير والطويل على السواء.

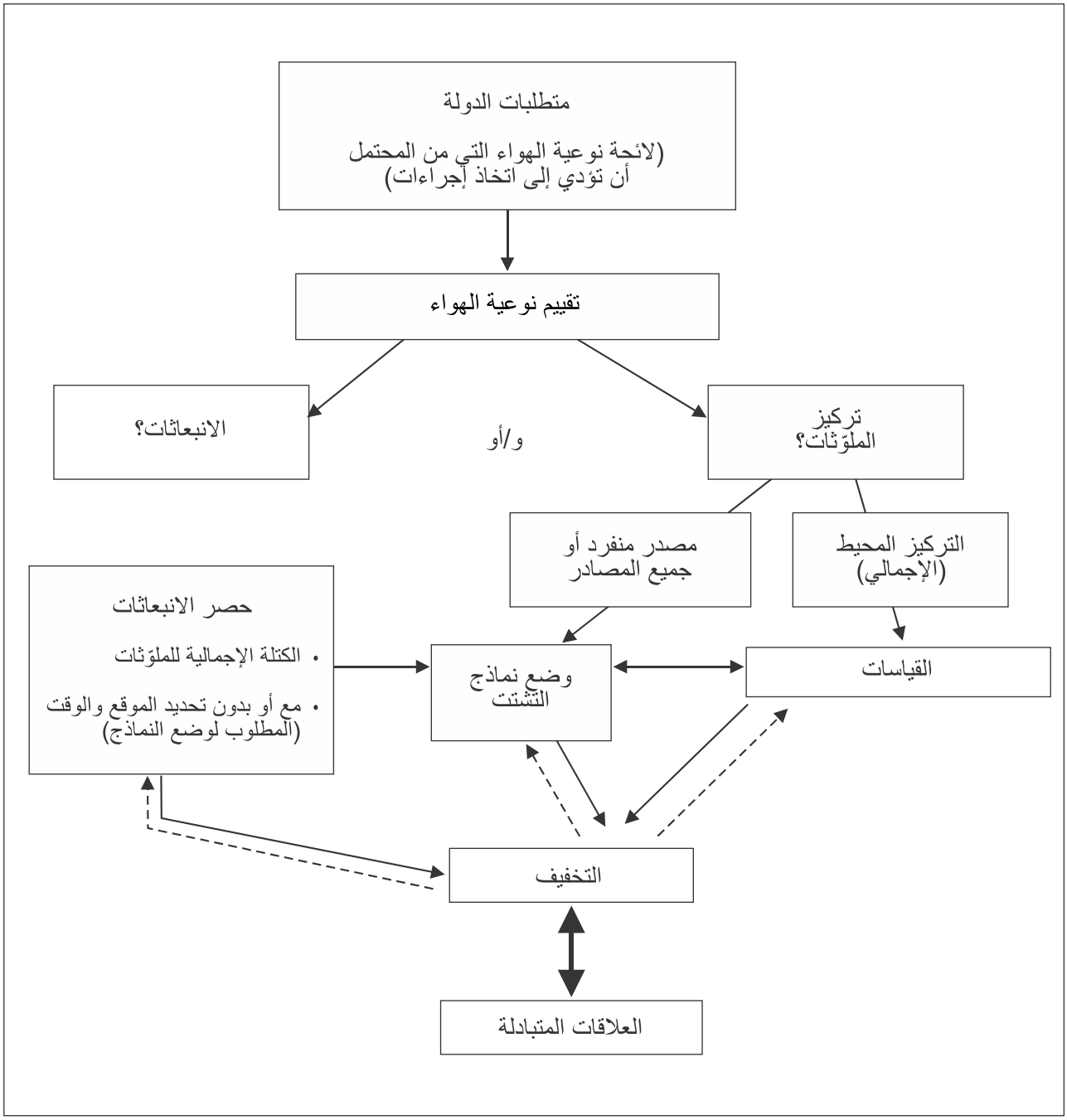
١-٣-٣ من الجدير بالذكر أنه تمت تحسينات كبيرة خلال العقدين الماضيين بصدد كفاءة وقود الطائرات والتحسينات الفنية الأخرى للتقليل من الانبعاثات. غير أن أوجه التقدم هذه قد يوازنها في المستقبل النمو المتوقع لعمليات المطارات وأنشطة الطيران الأخرى. ولأن الطائرات هي مصدر واحد فقط من مصادر عديدة للانبعاثات في أي مطار، يُعتبر من الضروري أيضاً أن تتم بفعالية إدارة الانبعاثات من محطة الركاب وتجهيزات الصيانة والتدفئة ومعدات المساندة الأرضية بالمطار ومختلف وسائل النقل الأرضية التي تسير حول المطارات وإليها ومنها. والقيام على الوجه الأمثل بتصميم وتخطيط المطارات ووضع هياكلها الأساسية وتعديل الممارسات التشغيلية من أجل المزيد من الكفاءات وإعادة تجهيز أسطول معدات المساندة الأرضية بالتكنولوجيات "منعدمة" أو "منخفضة" الانبعاثات، وتعزيز الوسائل الأخرى الملائمة بيئياً للنقل الأرضي هي بعض الفرص الحالية التي يمكن أن تعتمدها أو تطبّقها المطارات وباقي صناعة الطيران للمساعدة على تحقيق هذه الأهداف وتشجيع التنمية المستدامة في مجال النقل الجوي التجاري.

١-٤ تقييم نوعية الهواء

١-٤-١ يتم، في معظم المجالات، تنظيم نوعية الهواء بتوليفة من الأنظمة[١] الوطنية و/أو الإقليمية و/أو المحلية التي تضع قواعد بشأن مصادر الانبعاثات و/أو المستويات المحيطة (أي الخارجية) للملوّثات المختلفة وتحدّد الإجراءات لتحقيق الامتثال لهذه القواعد. وعلى سبيل المثال، يبيّن الشكل ١-١ علاقة المتطلبات الرئيسية لتقييم نوعية الهواء المعبّرة عن هذا الإطار القانوني.

---

١ تستخدم هذه المواد الإرشادية بصفة عامة الاصطلاح "أنظمة" للإشارة إلى القوانين واللوائح الوطنية لنوعية الهواء (التي يمكن أن تشمل اللوائح الوطنية المعتمدة لإدراج القواعد القياسية الصادرة عن الايكاو لانبعاثات محركات الطائرات) و"قواعد" عند الإشارة إلى القواعد الصادرة عن الايكاو لانبعاثات المحركات. غير أن بعض اللوائح الوطنية لنوعية الهواء تسمّى هي أنفسها "معايير" (مثل المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط في الولايات المتحدة). وعندما تشير الخطط الوطنية إلى أحكامها الخاصة لنوعية الهواء بوصفها "معايير"، ستُستَخدم تلك المصطلحات في هذه الإرشادات عند الإشارة إلى تلك الأحكام. ولتفادي الالتباس في المصطلحات، ستشير الإرشادات على وجه التحديد إلى القواعد القياسية الصادرة عن الايكاو لانبعاثات المحركات بوصفها قواعد "الايكاو".



الشكل ١-١ — عناصر نوعية الهواء المحلي وتفاعلاتها

١-٤-٢ كما هو مبيّن، فإن المجالين الرئيسيين لتقييم نوعية الهواء هما:

أ) قوائم حصر الانبعاثات.

ب) وضع نماذج تشتّت تركيزات التلوّث.

تعطي قوائم حصر الانبعاثات الكتلة الإجمالية للانبعاثات المطلقة في البيئة وتوفّر أساساً للإبلاغ، الامتثال، تخطيط التخفيف، ويمكن استخدامها كمدخلات لوضع نماذج تركيزات التلوّث. وبغية ربط الانبعاثات بتركيزات التلوّث، يتعيّن أيضاً تقييم التوزيع المكاني والزمني للانبعاثات. ويتيح هذا النهج المركّب لاستخدام قوائم حصر الانبعاثات ووضع نماذج التشتّت تقييم تركيزات التلوّث التاريخية و/أو الحالية و/أو المستقبلية في المناطق المجاورة للمطارات أو من مصادر الانبعاثات المنفردة.

١-٤-٣ يمكن أيضاً تقييم تركيزات التلوّث الحالية عن طريق قياس الأحوال المحيطة (مثل أخذ العينات والرصد)، مع أن هذا الأسلوب للتقييم يمكن أن يشمل مساهمات من مصادر أخرى قريبة وبعيدة، بما في ذلك المصادر غير المتصلة بالمطار. وحسب المهمة المحددة، يمكن استخدام نتائج وضع النماذج بالحاسوب والقياسات المحيطة لتقييم الأحوال الحالية أو التاريخية. وفي المقابل، لا يمكن محاكاة الأحوال المستقبلية إلا باستخدام وضع النماذج بالحاسوب.

١-٤-٤ يمكن استخدام حصر الانبعاثات ووضع نماذج التركيز وعناصر القياس المحيط لتقييم نوعية الهواء على انفراد أو في توليفة لمساعدة عملية الفهم و/أو الإبلاغ و/أو الامتثال و/أو تخطيط التخفيف عن طريق توفير المعلومات عن الأحوال العامة وكذلك مساهمات المصادر المحددة.

١-٤-٥ يمكن أن تكون لتخفيف نوعية الهواء اللاحق أو التدابير المنفذة الأخرى (مع إيلاء الاعتبار الملائم للعلاقة المتبادلة، بصفة أساسية، مع الضوضاء والتأثيرات البيئية الأخرى للمطار) نتائج مفيدة لكتلة الانبعاثات الإجمالية ونتائج نماذج التركيز والتركيزات المقيسة.

الفصل الثاني

الإطار التنظيمي والدوافع

٢-١ مقدمة

٢-١-١ اعتمدت الدول (ومندوبوها) تاريخياً لوائح محلية لنوعية الهواء لحماية الصحة العامة والبيئة الطبيعية. وقد توصف نوعية الهواء المحلي عموماً بأنها حالة الهواء المحيط الذي عادة ما يتعرّض له البشر والطبيعة. وفي معظم الحالات، يستند تقرير نوعية الهواء إلى تركيز الملوّثات (من المصادر الطبيعية والبشرية، أي الناشئة عن الإنسان، على السواء). وتُقارَن هذه التركيزات باللوائح والمعايير الموضوعة لتحديد المستويات المقبولة لنوعية الهواء المحلي، بما في ذلك التدابير اللازمة لتحقيقها. وتخضع مسائل عديدة خاصة بنوعية الهواء المحلي في المطارات وحولها لهذه اللوائح أنفسها. وفي هذا المضمار، توجد ضغوط متنوعة ومتفاوتة على الدول المنفردة فيما يتعلق بنوعية الهواء بالقرب من المطارات، بما في ذلك ما يلي:

أ) تدهور نوعية الهواء المحلي المؤدي إلى هوامش مخفّضة مقابل اللوائح القائمة.

ب) الوعي الزائد بالآثار الصحية، مما يدفع إلى وضع لوائح جديدة موضع التنفيذ، بما في ذلك إضافة أنواع جديدة من الملوّثات.

ج) قيود التنمية الناتجة عن الحدود التي تفرضها الحاجة للوفاء بلوائح نوعية الهواء المحلي.

د) توقعات الجمهور الأكبر بصدد مستويات نوعية الهواء المحلي.

ه) زيادة شواغل الجمهور بشأن آثار الطائرات.

٢-١-٢ يتعيّن أيضاً النظر في هذه الضغوط في الإطار الأوسع للضغوط الأخرى على الطيران — ولا سيما التأثير المحتمل لانبعاثات الطيران على المناخ وتأثير ضوضاء الطيران على المجتمع المحلي والوضع الاقتصادي لصناعة الطيران. وتترتب على هذه الضغوط الإضافية تدابيرها الاقتصادية والتنظيمية الخاصة التي تثير في معظم الحالات مسائل مفاضلة فيما بينها وفيما بينها وبين نوعية الهواء المحلي بالقرب من المطارات.

٢-١-٣ من المعتاد أن تشتمل بيئات المطارات على خليط متشعّب من مصادر الانبعاثات التي تشمل الطائرات ومعدات الدعم الأرضي ومباني المحطات وحركة المركبات الأرضية. وبالنسبة لأي دولة معيّنة كثيراً ما يوجد خليط متشعّب مرتبط بذلك من اللوائح والمعايير القائمة التي تشمل العديد من مصادر الانبعاثات الموجودة في المطارات (مثل محركات الطائرات ومحركات مركبات النقل ووحدات توليد القدرة/الحرارة وتجهيزات صيانة الطائرات). وفي هذا الصدد، يتم على الصعيد الوطني بصفة عامة وضع اللوائح التي تشمل مصادر غير الطائرات. وعلى سبيل المقارنة، فإن معايير الانبعاثات لمحركات الطائرات تتم الموافقة عليها دولياً من خلال اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران التابعة للايكاو وتعتمدها بعد ذلك كل دولة عضو في الايكاو لتصبح لوائح محلية.

٢-١-٤ في معظم البلدان، تضع السلطات الوطنية المبادئ التوجيهية والأهداف لتحقيق وإبقاء أحوال مقبولة لنوعية الهواء. وهي تنهض أيضاً، بالاشتراك مع السلطات الإقليمية والمحلية، بواجبات هامة في أخذ قياسات نوعية الهواء وتنفيذ الخطط والبرامج التصحيحية وإعلام عامة الجمهور بالمسائل المتعلقة بأحوال نوعية الهواء المحلي.

٢-٢ الدوافع إلى العمل

٢-٢-١ ظلت لوائح نوعية الهواء المحلي، منذ نشوئها، تستند إلى الحاجة لحماية الصحة العامة والبيئة الطبيعية. وتشمل الأمثلة المبكّرة للوائح نوعية الهواء المحلي ضوابط عام ١٨٨١ لنوعية الهواء المحلي في شيكاغو وسينسيناتي. وقد ركّزت هذه اللوائح الأولية على أبرز نواتج احتراق الوقود والنفايات، أي الدخان والجسيمات. وبحلول منتصف القرن العشرين، انتقل تنظيم الانبعاثات لتقليل الدخان من المستوى المحلي إلى المستوى الوطني بوضع القوانين الوطنية لنوعية الهواء موضع التنفيذ في اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية (١٩٤٩) والولايات المتحدة (١٩٥٥) والمملكة المتحدة (١٩٥٦).

٢-٢-٢ في حالة لائحة المملكة المتحدة لعام ١٩٥٦، كان الضباب الدخاني الكبير لعام ١٩٥٢ هو الدافع إلى العمل التشريعي إلى جانب الارتفاع الكبير في معدل وفيات الأشخاص الذين يعانون من أمراض تنفسية وأمراض قلب وأوعية دموية مرتبطة بهذا الحدث. وركّز قانون الهواء النظيف لعام ١٩٥٦ الناتج عن ذلك اهتمامه على خفض التلوّث الدخاني المرتبط بمصادر صناعية.

٢-٢-٣ في الولايات المتحدة، كان قانون مراقبة تلوّث الهواء لعام ١٩٥٥ هو مجرد البداية لسلسلة من التدابير المتخذة لتحسين نوعية الهواء المحلي، التي تؤثر على طائفة عريضة من الصناعات. وتطوّرت تنقيحات رئيسية في عام ١٩٦٣ لتصبح "قانون الهواء النظيف"، مع لوائح إضافية تشمل النقل طويل المدى وتوليد القدرة ومجموعة متنوعة من الأنشطة الصناعية. وفي الوقت ذاته، أنشأت الحكومة الاتحادية وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة، وفي عام ١٩٧١ اعتُمدت المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط. ووضعت المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط لائحة لنوعية الهواء على مستوى وطني يشمل ستة ملوّثات[١] وتنص على أنه يتعين الوفاء بالمعايير بحلول عام ١٩٧٥. وفي عام ١٩٩٠، أدت تعديلات شاملة لقانون الهواء النظيف لزيادة صرامة هذه المتطلبات بقدر كبير.

٢-٢-٤ هذه المتطلبات القانونية، الموضوعة لحماية الصحة العامة والبيئة، شكّلت دافعاً للعمل من جانب صناعات عديدة (بما في ذلك الطيران) والحاجة للامتثال للوائح. وفي بعض الحالات، أصبح الامتثال لنوعية الهواء في بيانات وعمليات تقييم التأثير البيئي أحد الاعتبارات المطلوبة في مبادرات التنمية.

٢-٢-٥ بصورة موازية للوائح نوعية الهواء المحلي، فإن زيادة وعي الجمهور وتوقعاته بصدد نوعية الهواء، المعرب عنها من خلال وسائل الإعلام والحكومة ومجموعات أصحاب المصلحة، مارست أيضاً ضغطاً على صناعة الطيران. وكانت هذه المبادرات أيضاً بمثابة دوافع لأن تقوم صناعة الطيران بالإعلام ولأن تحاول، عندما يكون ذلك ملائماً، تلبية تلك التوقعات.

٢-٢-٦ من بين الخيارات المتاحة لصناعة الطيران كاستجابة لهذه الدوافع السيطرة على الانبعاثات من محركات الطائرات. وفي عام ١٩٧١، نشرت الايكاو الملحق السادس عشر، *حماية البيئة*، المجلد الأول — *ضوضاء الطائرات* وأعقبه، في عام ١٩٨١، المجلد الثاني — *انبعاثات محركات الطائرات*. وشملت هذه القواعد القياسية حظر إراقة الوقود والحد من انبعاثات الهيدروكربون وأول أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين والدخان، والأخير في شكل الرقم الدخاني. وستغطي القواعد الجديدة ثاني أوكسيد الكربون والجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (الكتلة والعدد).

٢-٢-٧ تُطبَّق قواعد الايكاو لانبعاثات المحركات من خلال عمليات الترخيص الوطنية ومتعدة الجنسيات للمحركات التوربينية النفاثة والتوربينية بمراوح داخلية التي تتجاوز قوة دفعها ٢٦,٧ كيلونيوتن، ولكنها لا تطبَّق على المحركات التوربينية المروحية أو التوربينية بمهواة أو المكبسية أو وحدات الطاقة الإضافية للطائرات. وتستند القواعد القياسية للايكاو إلى أداء المحرك غير المركّب المقيس مقابل دورة مثالية للهبوط والإقلاع حتى ٩١٤ متراً (٠٠٠ ٣ قدم) فوق مستوى سطح الأرض. وتتم إجراءات الترخيص على محرك واحد في خلية اختبار، بالرجوع إلى مستوى سطح البحر الساكن وأحوال الغلاف الجوي المعياري الدولي. ومن المعترف به على نطاق واسع أن القواعد القياسية للايكاو المستخدمة في الترخيص تختلف عن انبعاثات الطائرات الفعلية التي تحدث في مواقع وأوضاع تشغيلية محددة. ومع ذلك، تستخدم بعض الدول حالياً القواعد القياسية للايكاو كقيم بديلة لبعض أغراض تقييم نوعية الهواء المحلي. ولذلك، يتمثل أحد الأغراض الرئيسية لهذه الوثيقة في توفير منهجية تؤدي إلى تقييم لانبعاثات محركات الطائرات الفعلية أدق من استخدام القواعد القياسية البديلة الصادرة عن الايكاو.

٢-٢-٨ وأخيراً، من الجدير بالملاحظة أن تكنولوجيا محركات الطائرات قد بلغت مرحلة توجد فيها تطورات أقل تؤدي في الوقت ذاته إلى تخفيض الضوضاء والانبعاثات معاً. ومع الاندفاع المستمر لتخفيض الآثار البيئية للطائرات، توجد احتياجات متزايدة لتقييم المفاضلات بين

---

١ أول أكسيد الكربون والرصاص وثاني أكسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة والأوزون وثاني أكسيد الكبريت. وقُسِّمت الجسيمات الدقيقة إلى جسيمات تقل عن أو تساوي ١٠ ميكرونات وجسيمات دقيقة تقل عن أو تساوي ٢,٥ ميكرون.

تخفيض الضوضاء والانبعاثات والتأثير على انبعاثات غازات الدفيئة (من بين هذه الانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، المرتبط بحرق الوقود)، متى ما يتم تصميم طائرة جديدة وتشغيلها.

٢-٣ لوائح نوعية الهواء المحلي وتنظيم الملوّثات

٢-٣-١ كثيراً ما تنظّم نوعية الهواء المحلي أنواع انبعاثات محددة وكذلك الملوّثات الثانوية التي قد تكوّنها هذه الانبعاثات. ونتيجة لذلك، قد تتفاوت اللوائح وتكون متوائمة مع الظروف والأولويات المحلية في البلدان التي تطبَّق فيها. وأحد أمثلة هذا هو الاختلاف في التركيز الذي يقوم به الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة على ثاني أكسيد النيتروجين وأكسيد النيتروجين والأوزون، في حين أن العديد من دول الاتحاد الأوروبي أكثر اهتماماً بتركيزات ثاني أكسيد النيتروجين وأن الولايات المتحدة ودول أخرى أكثر اهتماماً بانبعاثات أكسيد النيتروجين، الذي هو سليفة للأوزون.

٢-٣-٢ وضعت الدول تاريخياً أيضاً لوائحها و/أو مبادئها الرائدة الخاصة لنوعية الهواء المحلي، ولذلك يوجد عدد من المعايير التنظيمية الوطنية على النطاق العالمي. ويُدرج الجدول ٢-١، على الرغم من أنه غير شامل في تغطيته، لبيان التنوّع الموجود بين الدول بالنسبة لعدد من ملوّثات الهواء. وفيما وراء التفصيل المبيّن في الجدول، يشمل هذا التنوّع أيضاً الطريقة التي تُطبَّق بها المعايير الرقمية. وعلى سبيل المثال، تعامَل بعض اللوائح على أنها مستويات مقبولة قصوى، في حين يحدد البعض عدد التجاوزات المقبولة. وأُدرِج في الجدول أيضاً التوجيه الإطاري لنوعية الهواء الصادر عن الاتحاد الأوروبي والمبادئ الرائدة للمقارنة الصادرة عن منظمة الصحة العالمية. ومن الجدير بالملاحظة أنه من المعتاد أن تتخذ لوائح نوعية الهواء المحلي شكل ميكروجرامات لكل متر مكعّب وبحسب الملوّث بالنسبة لإطار زمني محدد (ساعة أو يوم أو سنة في العادة).

٢-٣-٣ من الأمور الهامة أن الجدول ٢-١ هو لمحة موجزة عن لوائح نوعية الهواء للدول في عام ٢٠٠٥، وينبغي ملاحظة أن اللوائح قد تتغيّر دورياً. ويبيّن فحص الجدول بإيجاز أن اللوائح تختلف حسب البلد وقد تكون أكثر أو أقل صرامة من المبادئ التوجيهية الصادرة عن منظمة الصحة العالمية. وعلى سبيل المثال، في حالة ثاني أكسيد النيتروجين، فإن المبدأ التوجيهي الصادر عن منظمة الصحة العالمية طوال فترة ساعة هو ٢٠٠ ميكروجرام لكل متر مكعب ولكن الاختلاف لهذا الملوّث هو من ٧٥ إلى ٤٠٠ ميكروجرام لكل متر مكعب. وبالنسبة للجسيمات الدقيقة التي تساوي أو تقل عن ١٠ ميكرونات، لا يوجد مبدأ توجيهي لمنظمة الصحة العالمية، ولكن تتراوح اللوائح من ٥٠ إلى ١٥٠ ميكروجراماً لكل متر مكعب طوال فترة ٢٤ ساعة. وفي المقابل، لا يوجد مبدأ توجيهي صادر عن منظمة الصحة العالمية لفترة ساعة أو ٢٤ ساعة بالنسبة للأوزون، ولكن يوجد مبدأ رائد لمدة ٨ ساعات مقداره ١٢٠ ميكروجراماً لكل متر مكعب، مع تراوح اللوائح الوطنية من ١٢٠ إلى ١٦٠ ميكروجراماً لكل متر مكعب.

٢-٣-٤ تتوقف القدرة على الامتثال لهذه المبادئ الرائدة واللوائح الوطنية إلى حد كبير على المتغيرات المحلية التي تشمل الأحوال الجوية والتركيزات الخلفية والكثافة السكانية وأنواع وأحجام الصناعات وأنواع تكنولوجيات مراقبة الانبعاثات المتوافرة في المنطقة، التي قد تحد منها القدرة على تحمّل تكاليفها. وتوصي المبادئ التوجيهية الصادرة عن منظمة الصحة العالمية بأن تشمل اللوائح أطراً زمنية معينة من ساعة واحدة أو ٨ ساعات أو ٢٤ ساعة أو سنة واحدة.

٢-٣-٥ هناك أيضاً أنحاء من العالم لا توجد لديها لوائح لنوعية الهواء. وفي بعض البلدان النامية، حدث مؤخراً فقط تحوّل حضري وتصنيع سريعان نجم عنهما تكثيف تلوّث وتدهور الهواء في مستويات نوعية الهواء المحلي قد يسوّغ اهتماماً محدداً أو إجراءات تصحيحية.

٢-٣-٦ استجابة لتوصيات جدول أعمال القرن ٢١[٢] لخطة الأمم المتحدة لتنفيذ مؤتمر قمة الأرض لعام ٢٠٠٢ بشأن التنمية المستدامة، تم وضع الإطار الاستراتيجي. ويهدف هذا الإطار الاستراتيجي لإدارة نوعية الهواء في آسيا إلى توفير نهج إقليمي لتحسين نوعية الهواء المحلي الحضري عن طريق تسهيل وضع أولويات نوعية الهواء المحلي وتقديم التوجيه بشأن التنمية المؤسسية وتعزيز القدرات. ويقترح الإطار الاستراتيجي مشروع تلوّث الهواء في مدن آسيا الضخمة ومبادرة الهواء النظيف للمدن الآسيوية. وتلوّث الهواء في مدن آسيا الضخمة هو مشروع مشترك بين برنامج الأمم المتحدة للبيئة ومنظمة الصحة العالمية ومعهد ستوكهولم للبيئة ومعهد كوريا للبيئة. ويشمل مشروع تلوّث الهواء في مدن آسيا الضخمة المدن الضخمة في آسيا، المعرّفة بأنها المدن التي يتجاوز عدد سكانها عشرة ملايين نسمة.[٣] ويوصي هذا الإطار الاستراتيجي باستخدام المبادئ التوجيهية لنوعية الهواء الصادرة عن منظمة الصحة العالمية لتحديد المعايير وأوقات تحديد المتوسط.

---

٢ جدول أعمال القرن ٢١: مؤتمر قمة الأرض . برنامج عمل الأمم المتحدة من ريو، أبريل/نيسان ١٩٩٣، ISBN: 9211005094.

٣ بانكوك وبيجينغ وكالكاتا وشونغ شينغ وغوانغزو وهونغ كونغ وكاتماندو ومانيلا ومومباي ونيودلهي وأوسكا وسيول وشانغهاي وسنغافورة وتايبي وطوكيو.

الجدول ٢–١ لوائح نوعية الهواء المحلي في البلدان المختلفة

البلد/ المنظمة	اللوائح	المادة الملوثة (فترة تحديد المتوسط)											
		أكسيد الكبريت			أكسيد النيتروجين			أول أكسيد الكربون		الأوزون			جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل
		ساعة واحدة*	٢٤ ساعة	سنوي	ساعة واحدة	٢٤ ساعة	سنوي	ساعة واحدة	٨ ساعات	ساعة واحدة	٨ ساعات	٢٤ ساعة	٢٤ ساعة	سنوي
		$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
منظمة الصحة العالمية	المبادئ التوجيهية الصادرة عن منظمة الصحة العالمية (محدثة في عام ٢٠٠٥)	—	20	—	200	—	40	30	10	—	100	—	50	20
الاتحاد الأوروبي	التوجيه الإطاري لنوعية الهواء	350	125	—	200	—	40	—	10	—	120	—	50	40
أستراليا	التدبير الوطني للحماية البيئية لنوعية الهواء المحيط	520	200	50	220	—	50	—	10	200	—	—	50	—
البرازيل	قرار المجلس الوطني للبيئة رقم ٠٣، الصادر في يونيو/حزيران ١٩٩٠— المعايير الوطنية لنوعية الهواء	—	365	80	320	—	100	40	10	160	—	—	150	50
كندا	الأهداف الوطنية لنوعية الهواء المحيط، القانون الكندي لحماية البيئة، يونيو/حزيران ٢٠٠٠	900	300	60	400	200	100	35	15	160	—	50		
الصين	قواعد نوعية الهواء المحيط GB3095 - 2012	150	50	20	200	80	40	10	—	160	100	—	50	40
الهند	قواعد نوعية الهواء المحيط الوطنية، الإبلاغ في ٢٠٠٩/١١/١٨	—	80	50	—	80	40	4	2	—	100	—	100	60
اليابان	وزارة البيئة معايير نوعية البيئة	260	100	—	75–110	—	—	12	25	120	—	—	—	—
جنوب أفريقيا	قانون نوعية الهواء (رقم ٣٩ عام ٢٠٠٤) SANS 1929-2011	350	125	50	200	—	40	30	10	—	120	—	75	40
سويسرا	Swiss Luftreinhalteverordnung (LRV)	—	100	30	—	80	30	—	—	120	—	—	50	20
الولايات المتحدة الأمريكية	المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط (٢٠٠٨–٢٠١١)	210	—	—	200	—	100	43	10	—	160	—	150	50

$\mu g/m^3$ = ميكروجرامات لكل متر مكعب

* الفترات الزمنية المذكورة هى تلك التى تقاس خلالها تركيزات الملوّثات المتوسطة.

٢–٣–٧ في العديد من البلدان، تقوم السلطات الإقليمية والمحلية برصد نوعية الهواء المحلي ولكنها لديها عمل هام في اتخاذ التدابير التصحيحية وتنفيذ الخطط الإدارية والبرامج الأخرى للوفاء بمتطلبات لوائح نوعية الهواء المحلي.

٢–٣–٨ تشكّل زيادة التحوّل الحضري شاغلاً في العديد من البلدان وهناك ميل لأن تجتذب المطارات مناطق نمو جديدة. وتستخدم بعض الدول تدابير تخطيط استخدام الأراضي المتاحة للسيطرة على هذا النمو بغية منع التنمية غير الملائمة في المناطق الريفية المحيطة من تجاوز حدود المطارات. وتشيع أيضاً ممارسة توفير عازل للضوضاء والانبعاثات المرتبطة بالمطارات. وتتطلب تصاريح التخطيط لإنشاء أو توسيع المطارات التشاور مع أصحاب المصلحة الرئيسيين ومتخذي القرارات الاستراتيجية على المستويات الوطني والإقليمي والمحلي. وكثيراً ما يشمل هذا إشراك سلطات السكك الحديدية والطرق السريعة والتخطيط.

٢-٣-٩ في المملكة المتحدة، على سبيل المثال، على الرغم من أن الحكومة ملتزمة بلوائح نوعية الهواء المحلي الإلزامية للاتحاد الأوروبي، فقد حددت أيضاً أهدافاً وطنية في استراتيجيتها لنوعية الهواء. ولهذه الأهداف وضع قانوني مختلف عن القيم الحدّية للاتحاد الأوروبي، ولكنها تشكل جزءاً من اتفاق خدمة عامة مشترك بين إدارة النقل وإدارة البيئة والأغذية والشؤون الريفية وتساعد على دعم القرارات بشأن النمو المستقبلي للطيران في المملكة المتحدة.

٢-٣-١٠ منذ ديسمبر/كانون الأول ١٩٩٧ ظلت كل سلطة محلية في المملكة المتحدة تنفّذ برنامج استعراض وتقييم لنوعية الهواء المحلي في منطقتها. ويشمل هذا قياس تلوّث الهواء ومحاولة التنبؤ بكيفية تغيّره في السنوات القليلة التالية. وهدف هذا العمل هو ضمان تحقيق الأهداف الوطنية لنوعية الهواء في جميع أنحاء المملكة المتحدة. وقد وُضعت هذه الأهداف لحماية صحة البشر والبيئة الطبيعية. وإذا حددت سلطة محلية أي مجالات لا يُحتمل أن تتحقق فيها الأهداف، فيجب عليها أن تعلن هناك منطقة لإدارة نوعية الهواء. ويمكن أن تكون هذه المنطقة مجرد شارع أو شارعين أو يمكن أن تكون أكبر من ذلك بكثير. ويمكن أن تضع السلطة المحلية حينئذ خطة عمل لنوعية الهواء المحلي لتحسين نوعية الهواء المحلي.

٢-٣-١١ يتم داخل الاتحاد الأوروبي أيضاً تنظيم نوعية الهواء المحلى عن طريق التوجيه الإطاري 2008/50/EC، الذي يوحد غالبية التشريعات القائمة (باستثناء المعادن الصلبة والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات) في توجيه واحد يشمل ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة التي قطرها الإيروديناميي ١٠ ميكرومترات والاحكام الجديدة الخاصة بالجسيمات الدقيقة التي قطرها الإيروديناميي ٢,٥ ميكرومترات والبنزين والرصاص. ويتماشى توجيه الاتحاد الأوروبي هذا مع توصيات منظمة الصحة العالمية لأوروبا.[٤]

٢-٣-١٢ تاريخياً، تطوّر العديد من مطارات التجميع الكبيرة من ميادين طيران صغيرة وكان من الصعب تدبير أمر مواقعها وقربها من المناطق الحضرية/السكنية. وعلى سبيل المثال، في هونغ كونغ، فإن مطار كايتاك القديم، الذي كان الاقتراب منه فوق مناطق كثيفة السكان يشكّل تحدياً بالغاً، أستعيض عنه بمرفق جديد تماماً. وتم عمداً بناء مطار هونغ كونغ الدولي الجديد بعيداً عن مراكز السكان الرئيسية لكي لا تقلع وتهبط الطائرات فوق مناطق حضرية كثيفة السكان، وتجري عمليات الاقتراب الليلية الجديدة فوق الماء بدلاً عن أن تجري فوق مراكز سكانية. وهذا مفيد من منظور الضوضاء والانبعاثات المحلية على السواء، غير أنه في حالة هونغ كونغ بعينها، لم يجد المجلس الاستشاري للبيئة ارتباطا بين تغيير موقع المطار ونوعية الهواء المحلي.[٥] وعندما تكون لدى الأقاليم المساحة أو ربما الجغرافيا اللازمة لاستيعاب مثل هذا التخطيط ويمكنها بعد ذلك منع التجاوز عن طريق التنمية غير الملائمة، فمن الواضح أنه مفيد. وتم تحقيق مزيد من تخفيضات الانبعاثات المحلية عن طريق بناء شبكة واسعة النطاق للنقل العام لكي لا يتعين أن تكون السيارات هي الوسيلة الرئيسية لوصول جمهور المسافرين إلى المطار.

٢-٣-١٣ تتولى وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة تنظيم نوعية الهواء المحلي من خلال قانون الهواء النظيف والمعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط، كما سلفت مناقشته. أما المناطق التي فيها تركيزات ملوّثات تتجاوز المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط، أو تسهم في تجاوز المعايير في منطقة مجاورة، فيتم تعيينها بوصفها مناطق عدم بلوغ المعايير. ويُستخدم رصد نوعية الهواء لتقرير الامتثال للمعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط ووضع الحدود الجغرافية لمناطق عدم بلوغ المعايير هذه.

٢-٣-١٤ نتيجة عدم بلوغ المعايير هي أنه يجب أن تقدم تلك الولايات خططاً لتنفيذ الولايات تحدد تدابير معينة لتحسين نوعية الهواء المحلي وتحقيق بلوغ المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط. وعندئذ يجب على الهيئات الخاضعة للتنظيم داخل منطقة عدم بلوغ المعايير، وكذلك سلطات تخطيط استخدام الأراضي والنقل، الالتزام بخطط تنفيذ الولايات. وتترتب على الإخفاق في القيام بذلك عقوبات تفرضها وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة، عادة في شكل جزاءات مدنية و/أو في شكل منع للمزيد من التنمية والبناء لمصدر انبعاثات جديد معيّن.

٢-٣-١٥ بالإضافة إلى الجسيمات الدقيقة التي قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل، لدى وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة أيضاً معيار وطني لنوعية الهواء المحيط ينظّم الجسيمات الدقيقة التي تساوي أو تقل عن ٢,٥ ميكرون. ولائحة الجسيمات الدقيقة التي تساوي أو تقل عن ٢,٥ ميكرون هي لفترة ٢٤ ساعة وفترات زمنية متوسطة سنوية. وتسمح اللائحة بتجاوز واحد فقط لمعيار الـ٢٤ ساعة في سنة تقويمية على متوسط ٣ سنوات. ومن الملاحظ، في وقت بدء تنفيذ تنظيم الجسيمات الدقيقة التي تساوي أو تقل عن ٢,٥ ميكرون كانت توجد مطارات للخدمة التجارية في مناطق عدم بلوغ معيار الجسيمات الدقيقة التي تساوي أو تقل عن ٢,٥ ميكرون (٥٣، لا تشمل الطيران العام أو المطارات العسكرية) أكثر مما كان يوجد منها في مناطق عدم بلوغ معيار الجسيمات الدقيقة التي قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل (٣٨).

---

٤ *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd Edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91.

٥ ACE Paper 25/2004, *Impact of Aircraft Emissions on Air Quality*.

٢-٤ معايير ولوائح انبعاثات محركات الطائرات والسيارات

٢-٤-١ في الوقت الراهن، تندرج عادة اللوائح والمعايير التي تؤثر على الطائرات ومصادر انبعاثات المطارات الأخرى في فئتين متميزتين هما:

أ) ***التدابير التي تضع حدوداً على مصادر معينة للانبعاثات***. وتشمل هذه في الوقت ذاته قواعد الايكاو لانبعاثات محركات الطائرات (حسب ما اعتُمدت في اللوائح الوطنية ومتعددة الجنسيات) والتدابير الوطنية التي تضع حدوداً لمصادر غير الطائرات مثل التجهيزات الثابتة (مثل الغلايات، مولدات الكهرباء، المحارق) والسيارات.

ب) ***اللوائح الوطنية*** (المسماة "معايير" في بعض الدول) حددت تركيزات الملوّثات المحيطة لأحوال نوعية الهواء المحلي (مثل القيم الحدّية لنوعية الهواء المحلي).

٢-٤-٢ هذا التمييز مهم لأنه، في حين أن جميع مصادر الانبعاثات المنفردة التي تعمل في مطار معين أو بالقرب منه قد تفي بالحدود المتعلقة بذلك النوع من المصادر (بما في ذلك قواعد الايكاو لمحركات الطائرات)، فقد لا يتم مع ذلك الوفاء بعتبات تركيز الملوّثات المحلية. وقد يُعزى هذا إلى مجموعة متنوعة من العوامل المعيّنة لكل موقع بما في ذلك أحجام الحركة الجوية وحركة السيارات والطوبوغرافيا والأحوال الجوية في الأجل القصير والقرب من مصادر انبعاثات أخرى و/أو مستويات التلوّث الخلفي المرتفعة.

٢-٤-٣ تؤكد دراسات المطارات أن الطائرات تستمر في كونها مساهمة بقدر صغير نسبياً في التلوّث الإقليمي مع أن مساهمات أكاسيد النيتروجين المتصلة بالطائرات يمكن أن تزداد مع زيادات الحركة الجوية وتصبح مصادر الانبعاثات الأخرى غير الطائرات أنظف بصورة تدريجية. ولذلك، على الرغم من أن التخفيضات في انبعاثات الطائرات (من خلال التدابير التشغيلية وتدابير الحركة الجوية و/أو قواعد الايكاو للمحركات الأكثر صرامة) يمكن أن تساعد على تحسين نوعية الهواء المحلي بالقرب من المطارات، من المهم أيضاً النظر في الانبعاثات من السيارات على الطرق الإقليمية والمحلية على السواء. وضمن هذا الإطار، من المتوقع أن يتحسّن بقدر كبير في السنوات المقبلة أداء الانبعاثات من السيارات الجديدة. ولذلك، تبعاً للظروف في مواقع معينة، يمكن أن تزداد نتيجة لذلك الحصة النسبية من الانبعاثات الإجمالية المتصلة بالمطار التي تُنسَب إلى انبعاثات الطائرات.

٢-٤-٤ نجم عن الطابع الدولي للطيران التجاري وضع قواعد ترخيص دولية موحّدة، تم إعدادها داخل اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران واعتمادها من مجلس الايكاو. ومن المطلوب أن تفي بتلك القاعدة محركات الطائرات الجديدة المرخّصة بعد تاريخ سريان قاعدة للايكاو. وترد قواعد الايكاو لانبعاثات المحركات في المجلد الثاني من الملحق السادس عشر، وقد صُمِّمت أصلاً للاستجابة للشواغل بصدد الانبعاثات التي تؤثر على نوعية الهواء المحلي بالقرب من المطارات. وتضع هذه القواعد للمحركات حدوداً لأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون والجسيمات الدقيقة غير المتطايرة والدخان لدورة هبوط وإقلاع مرجعية حتى ارتفاع ٩١٤ متراً (٠٠٠ ٣ قدم) فوق المدرج.

٢-٤-٥ جرت بصورة تدريجية زيادة صرامة قواعد الايكاو لانبعاثات أكاسيد النيتروجين من محركات الطائرات منذ البدء في تطبيقها. وقد اعتُمدت قواعد الايكاو لأكاسيد النيتروجين في عام ١٩٨١ وجُعِلت أكثر صرامة في عام ١٩٩٣ عندما خفّضت الايكاو المستويات المسموح بها بنسبة ٢٠ في المائة للطائرات المرخّصة حديثاً، المنطبقة في ١٩٩٦/١/١، مع وقف الإنتاج في ٢٠٠٠/١/١. وفي عام ١٩٩٩،[٦] زادت الايكاو صرامة قاعدة أكاسيد النيتروجين بنسبة ١٦ في المائة تقريباً كمتوسط للمحركات المرخصة حديثاً من ٢٠٠٤/١/١. وفي عام ٢٠٠٥، اعتمد مجلس الايكاو قرار اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران من أجل زيادة أخرى لصرامة قاعدة أكاسيد النيتروجين بحيث أن أصبحت القاعدة، المنطبقة في عام ٢٠٠٨، أكثر صرامة بنسبة ١٢ في المائة من المستويات التي تمت الموافقة عليها في عام ١٩٩٩. وفي عام ٢٠١١، عادت الايكاو لتزيد من صرامة تلك القاعدة، متيحة خفض الانبعاثات بنسبة ١٥% (بمعدل عام للضغط بقيمة ٣٠)، مع تاريخ الانطباق في ٢٠١٤/١/١. وبالنسبة للمحركات التي تنطبق عليها، فإن التأثير الإجمالي لهذه التغييرات هو زيادة صرامة لمعدل قواعد الايكاو الأصلية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين بنسبة ٥٠ في المائة.

٦ تشير تخفيضات النسبة المئوية إلى تخفيضات بنسبة ضغط إجمالية قدرها ٣٠. وقد تختلف تخفيضات نسبة الضغط الإجمالية لمحرك آخر عن هذه القيم.

٢-٤-٦ نتيجة لذلك، أصبح نظام ترخيص الانبعاثات أكثر صرامة بصورة تدريجية، وقام صانعو المحركات بتحسين كبير للهامش المتوسط لقواعد الايكاو. غير أن الميل إلى محركات ذات نسبة ضغط إجمالية أعلى أكثر كفاءة يعني أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين المطلقة من أسطول محدّث قد لا تنخفض بنفس النسبة المئوية للتغيير في قاعدة الايكاو لأكاسيد النيتروجين.

٢-٤-٧ يستخدم التطبيق الوطني لقواعد الايكاو في عملية ترخيص محركات الطائرات نهجاً "لاختبار الطراز". ويشمل هذا قيام صانع المحرك بتقديم بيان عملي إلى سلطة الترخيص لأن طراز المحرك قيد الترخيص يفي بقاعدة الايكاو وذلك عن طريق استخدام عدد محدود من المحركات. ثم تُعطى جميع المحركات من هذا الطراز ترخيصاً للانبعاثات على أساس طراز المحرك. ويسري هذا الترخيص أيضاً بالنسبة لعمر طراز المحرك (مثلاً، لا يوجد اقتضاء للتحقق من الانبعاثات بعد إجراءات صيانة/عمرة المحرك). غير أنه يوجد عادة تغيير طفيف فقط في الانبعاثات خلال عمر خدمة المحرك ويناقَش هذا بموضع آخر في هذه المادة الإرشادية.

٢-٤-٨ توجد أيضاً قواعد للايكاو بصدد تخفيض الدخان إلى مستويات غير مرئية، وذلك أيضاً باستخدام البيان العملي للصانع عن طريق اختبار الطراز المبيّن آنفاً. وتقتضي قواعد الايكاو أيضاً عدم إراقة الوقود من محركات الدفع الرئيسية خلال إغلاق المحركات العادي. وفي الوقت الراهن لا توجد قواعد للايكاو تتعلق بوحدات الطاقة الإضافية للطائرة.

٢-٤-٩ تخضع مصادر الانبعاثات من غير الطائرات في المطارات وبالقرب منها لحدود مقررة وطنياً لمصادر الانبعاثات بدلاً من خضوعها لقواعد تحددها هيئات دولية مثل الايكاو. وتحديد هذه المصادر الرئيسية لانبعاثات غير الطائرات وقياسها كمّياً هامان لتقييم نوعية الهواء المحلي بالقرب من المطارات. وتشمل هذه المصادر أنشطة أخرى متصلة بالمطارات، مثل السيارات التي تدخل المطار وتسير بالقرب منه ومركبات منطقة التحركات المراقبة مثل السيارات القاطرة ومعدات المساندة الأرضية الأخرى وسيارات الإطفاء وكذلك مصادر أخرى في المنطقة الجغرافية التي تعتبر ذات صلة بالتقييم في إطار الخطة التنظيمية الوطنية.

٢-٤-١٠ كما سلف بيانه، عادة ما تنظَّم إلى حد ما السيارات المجهزة بمحركات بمقتضى النظم الوطنية ولكنها تختلف في كيفية تنظيمها. وعلى سبيل المثال، عادة ما تُنظَّم مركبات التشغيل الشاق على أساس خصائص أداء المحرك وحدها (مثلاً بالجرامات لكل كيلواط/ساعة). وهذا بسبب التنوّع البالغ للمركبات (من الشاحنات الصندوقية الخفيفة إلى المركبات المفصلية والحافلات التي تزن ٣٨ طناً) التي يمكن أن تُستخدم فيها هذه المحركات. وبهذا المعنى، فإن هذه اللوائح لمصادر الانبعاثات مشابهة لقواعد الايكاو المطبّقة على محركات الطائرات، التي تستند أيضاً إلى طراز المحرك وحده. وبالنسبة "لمركبات التشغيل الخفيف" (السيارات، الشاحنات الصغيرة، الخ) توضع اللوائح لكل توليفة مركبة/محرك. وبالتالي يوجد عدد لا يُحصى من اللوائح التي تشمل مختلف المتطلبات لكل توليفة لنوع المركبة ونوع الوقود وطراز المحرك وتصنيف القدرة ووسيلة تخفيض الانبعاثات. وداخل الاتحاد الأوروبي، تُنظَّم سيارات الركاب على أساس انبعاثاتها لكل كيلومتر، باستخدام دورات القيادة للاختبار[٧] المصممة بحيث تمثّل الأحوال على الطريق والحمولة. ودورات الاختبار هي فعلياً آثار لسرعة المركبة مقابل الوقت، وتحاكي مجموعة محددة سلفاً من الأحوال الحضرية على الطريق وأحوال القيادة على طريق السيارات.

٢-٤-١١ تخضع معدات المساندة الأرضية والمركبات التي تعمل بمنطقة التحركات المراقبة لمجموعة متنوعة من لوائح الانبعاثات المستندة إلى خصائص استخدامها للتشغيل الشاق/للتشغيل الخفيف (أو خارج الطريق/على الطريق). وعلى سبيل المثال، فإن العديد من معدات المساندة الأرضية تندرج تحت قواعد "الآلات المتحركة خارج الطريق" إذا كان من غير المقصود قط استخدام المركبة على الطريق. وهذه المركبات يتم تنظيمها على أساس المحرك وحده، وعادة ما يكون ذلك مع دورة اختبار تمثّل أنماط التشغيل خارج الطريق. وتخضع المركبات المستخدمة في المطارات التي تُستخدم أيضاً في إطار الطريق العادي، مثل سيارات الإطفاء أو مركبات التسليم، للوائح الدولة العادية للانبعاثات على الطريق، حسبما سبقت مناقشته.

٢-٤-١٢ من ثم، بينما تنظَّم الطائرات والسيارات ومركبات منطقة التحركات المراقبة باستخدام إجراءات محددة (مثل التعبير عن الحالة الثابتة أو الأحوال التمثيلية النظرية إما للمحرك وإما للمركبة بأكملها)، فمن المحتمل أن الانبعاثات الفعلية الصادرة بموقع معيّن ستبيّن اختلافات عن هذه الأحوال. وعلى سبيل المثال، فإن طائفة السيارات المختبرة صغيرة نسبياً بالنسبة لكل توليفة إنتاج من مركبة/محرك، وتوجد اختلافات كبيرة في أحوال الحركة وأسلوب القيادة والأحوال الجوية/وجميعها لها تأثير على مستويات الانبعاثات الفعلية.

---

٧ "دورة القيادة الأوروبية الجديدة".

٢-٥ اللوائح وأهداف التكنولوجيا المتغيّرة

٢-٥-١ لا تزال لوائح نوعية الهواء المحلي تتطوّر وتصبح أكثر صرامة بصورة تدريجية مع توسّع الأنشطة الصناعية ونظم النقل والفهم الأفضل لتأثير نوعية الهواء المحلي على صحة البشر. ومن أمثلة ذلك تخفيض القيم الحدّية لثاني أكسيد النيتروجين للاتحاد الأوروبي من ٢٠٠ ميكروجرام لكل متر مكعب في عام ١٩٨٥ [٨] إلى ٤٠ ميكروجراماً لكل متر مكعب في عام ١٩٩٩،[٩] إلى جانب المزيد من التخفيضات اللاحقة التي أتيحت في التوجيه الفرعي للاتحاد الأوروبي رقم 99/30/EC. وفي ذلك التوجيه، كان لحد ثاني أكسيد النيتروجين المحسوب متوسطه سنوياً البالغ ٤٠ ميكروجراماً لكل متر مكعب هامش احتمال بنسبة ٥٠ في المائة عند بدء العمل به في عام ٢٠٠١ وخفض من ثم سنوياً بنسب مئوية متساوية إلى هامش صفر بحلول عام ٢٠١٠، بحيث ازدادت الصرامة تدريجياً طوال فترة السنوات العشر. ونظراً للتوسع المستمر لمعظم قطاعات الصناعة، يجب إدخال تحسينات تكنولوجية على مصادر الانبعاثات المتصلة بالمطارات إذا أريد الوفاء بأوجه الصرامة الزائدة هذه.

٢-٥-٢ اعترافا بالضغوط المتزايدة من الآثار الممكنة لنوعية الهواء المحلي والمناخ، إلى جانب النمو المستمر المتوقع في الحركة الجوية، حدّد أصحاب المصلحة في الطيران أهدافهم ورؤيتهم لمستقبل انبعاثات الطائرات في الأجل المتوسط والطويل. وتلك التي حددها المجلس الاستشاري لبحوث الطيران في أوروبا والإدارة الوطنية للطيران والفضاء في الولايات المتحدة هما مثالان لذلك.

٢-٦ الاستجابات التنظيمية

٢-٦-١ أدى إدخال وتوسّع جميع قطاعات الصناعة إلى لوائح لنوعية الهواء المحلي مصممة لحماية الصحة العامة والبيئة. ويعني المزيد من النمو والتوسّع أنه سيصبح من الضروري بصورة متزايدة لجميع القطاعات تحسين أدائها وإما تخفيض انبعاثاتها الصافية وإما تصنيف انبعاثاتها حسب الإنتاجية. ويمكن أن يُرى هذا في معايير أكاسيد النيتروجين الأكثر صرامة من ذلك في كل من صناعة السيارات وصناعة الطيران. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الفهم المتحسّن بصورة ثابتة لتأثير الملوّثات المختلفة على الصحة العامة يعني أن التركيز قد يتحوّل من انبعاث أو ملوّث إلى آخر. وحتى الآن، أدى هذا إلى زيادة في صرامة لوائح نوعية الهواء المحلي.

٢-٦-٢ إن اعتماد وزيادة صرامة المعايير الوطنية لنوعية الهواء المحيط في الولايات المتحدة والتوجيه الإطاري للاتحاد الأوروبي بشأن نوعية الهواء للجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل، وازدياد الإثباتات بضرورة ضبط انبعاثات الجسيمات الصغيرة جداً، هي من الأمور التي تستحث أيضاً نشاطا كبيرا وتدابير احترازية داخل لجنة الايكاو المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران. ويتمثل أحد الشروط المسبقة لقواعد الايكاو في وسيلة قياس قابلة للتكرار والموثوقية التي أعدت الآن لأحجام الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة لعادم محركات الطائرات. وتكون أول قاعدة خاصة بالجسيمات الدقيقة غير المتطايرة التي اعتمدتها الايكاو، واجبة التطبيق اعتباراً من ٢٠٢٠/١/١ على جميع المحركات التوربينية المروحية المصنعة التي يتجاوز دفعها المقدر ٢٦,٧ كيلونيوتن. وتفرض تلك القاعدة الأولى الخاصة بالجسيمات الدقيقة حدا أقصى لتركيز كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (nvPMmass) (الذي يتكوّن بشكل رئيسي من الكربون الأسود) وتملي بالإبلاغ عن مؤشرات الانبعاثات الناجمة عن nvPMmass (الوقود جرام/كيلوجرام) وعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (nvPMnumber) (الوقود عدد/كيلوجرام) لمراحل الهبوط والإقلاع (LTO) الأربع، بما في ذلك قيم مؤشر الانبعاثات القصوى (EI) المقاسة بين قدرة الدفع عند الدروج على المدرج وبين القدرة عند التشغيل الكامل. ويمثل ذلك نقطة البداية لتطبيق قواعد انبعاثات الجسيمات الدقيقة المعتمدة على معايير الصحة استناداً إلى مقياس دورة LTO. ويتوقع ألا نحتاج في المستقبل إلى القياس الحالي للرقم الدخاني للمحركات التوربينية المروحية التي يتجاوز دفعها المقدر ٢٦,٧ كيلونيوتن. ويُحظى بمزيد من الاهتمام انبعاث السلائف الجسيمية المتطايرة من الكبريت؛ وبما أنه من الممكن السيطرة على هذا عن طريق محتوى الوقود من الكبريت، من غير المتوقع إعداد قواعد لهذا النوع.

٢-٦-٣ تتطلع اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران إلى المستقبل وتتوقع المزيد من زيادات الصرامة في قواعد الايكاو لانبعاثات محركات الطائرات عن طريق الهبوط والإقلاع. وعلى وجه الخصوص، سيتم فحص أكاسيد النيتروجين، على الرغم من أنه سيتم تقييم التخفيضات المحتملة مقابل المفاضلات بينها وبين الضوضاء واستهلاك الوقود والتكلفة. وقد بلغت تكنولوجيا المحركات مرحلة من النضج بحيث يوجد قليل

٨ معايير نوعية الهواء لثاني أكسيد النيتروجين، التوجيه 85/203/EEC، ١٩٨٥/٣/٧.

٩ القيم الحدّية لثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة والرصاص في الهواء المحيط، التوجيه 99/30/EC، الذي أصبح التوجيه رقم 2008/50/EC.

من التطويرات التي يمكن القيام بها وتكون لها آثار مفيدة تماماً. ولذلك سيكون من المطلوب تقييم المفاضلات من أي تغيير تنظيمي وعواقبه التكنولوجية المتوقعة بالنسبة لجميع التغييرات المستقبلية في قواعد الايكاو للمحركات. ودعماً لهذا النشاط، وضعت لجنة حماية البيئة في مجال الطيران عملية لتحديد أهداف متوسطة الأجل (١٠ سنوات مثلاً) وطويلة الأجل (٢٠ سنة مثلاً) لتكنولوجيا أكاسيد النيتروجين. وستستخدم اللجنة هذه العملية في تحديد الدرجة التي تكون فيها تخفيضات أكاسيد النيتروجين القائمة على التكنولوجيا ملائمة للوفاء باحتياجات نوعية الهواء المحلي مع مراعاة المتطلبات البيئية والاقتصادية الأخرى وترابطاتها. وستسهّل مثل هذه الأهداف جهود الحكومة والصناعة المتضافرة بشأن هذه المسألة وستفضي أيضاً إلى تنبؤات وتصوّرات مستنيرة على نحو أفضل في مجال نوعية الهواء المتصلة بالطيران طوال المقياس الزمني للسنوات العشرين المقبلة.

الفصل الثالث

حصر الانبعاثات

٣-١ مقدمة

٣-١-١ المطارات والأنشطة المرتبطة بها هي مصادر لمجموعة متنوعة من الانبعاثات الغازية والجسيمية. وضمن سياق نوعية هواء المطار، فإن المقدار الإجمالي (أو الكتلة) لانبعاثات المطار التي تفي بأوصاف معيّنة هي قيمة هامة فيما يتعلق بآثارها النسبية ومسائل الامتثال التنظيمي. ويتم تحديد هذه القيمة من خلال إكمال حصر للانبعاثات. ويمكن أن تشمل أهداف الحصر، ولكن لا تقتصر بالضرورة على، ما يلي:

أ) جمع المعلومات عن الانبعاثات مع رصد الاتجاهات وتقييم التصوّرات المستقبلية.

ب) وضع المقاييس المرجعية للانبعاثات مقابل المقتضيات القانونية (العتبات مثلاً).

ج) استنباط مدخلات من البيانات لنماذج التشتت في جهد لتحديد تركيزات التلوّث.

د) وضع خطوط الأساس لبرامج التخفيف.

٣-١-٢ تُستخدم في العادة عملية تنطلق من القاعدة لحساب عمليات حصر الانبعاثات لأن هذا النهج يمكن أن يوفّر مستوى عالياً من الدقة. وتتطلب الخطوة الأولى، بصفتها هذه، حساب كتلة الانبعاثات حسب المصدر والفترة الزمنية والملوّث. وتُحسب هذه المتغيرات باستخدام المعلومات عن مصادر الانبعاثات المنفردة مع عوامل الانبعاث المرتبطة بها (المعبّر عنها كجرامات لكل كيلوجرام من الوقود أو كجرامات لكل ساعة من التشغيل أو كجرامات لكل كيلواط من القدرة) والبارامترات التشغيلية الخاصة بها خلال فترة زمنية محددة. ثم يُستخدم هذان البارامتران لحساب الانبعاثات الإجمالية المتصلة بالمصدر في المطار. ويمكن من ثم التعبير عن مصدر الانبعاثات الإجمالية في أشكال مختلفة مثل مصدر منفرد أو مجموعة من المصادر، بحسب الملوّث أو بحسب الفترة الزمنية (مثل ساعة أو يوم أو أسبوع أو شهر أو سنة).

٣-١-٣ بغية وضع حصر للانبعاثات، من المطلوب اتخاذ الخطوات التالية:

أ) تحديد بارامترات الحصر العامة مثل الغرض والمحيط الحيّزي والوظيفي ووتيرة عمليات التحديث.

ب) تحديد أنواع الانبعاثات التي يتعيّن النظر فيها.

ج) تحديد مصادر الانبعاثات الحالية.

د) القياس الكمّي للانبعاثات من تلك المصادر.

ه) النظر في مسائل المقياس الكبير (عمليات حصر الانبعاثات الإقليمية) بالقدر ذي الصلة بالموضوع.

و) تنفيذ تدابير ضمان الجودة والمراقبة (تمييز الجوانب غير المؤكدة وحدود البيانات).

٣-٢ بارامترات حصر الانبعاثات

٣-٢-١ ينبغي النظر في العوامل التالية عند وضع حصر للانبعاثات:

أ) ***غرض الحصر*** — استخدام واقتضاء حصر للانبعاثات يحددان تصميمه إلى حد كبير. وإذا كان الاقتضاء لحساب كتلة الانبعاثات الإجمالية فقط، تكون من ثم المنهجيات المستخدمة بسيطة ومباشرة. وإذا كان يتعين استخدام الحصر كجزء من نموذج للتشتت، يمكن أن تكون المنهجيات مختلفة وأكثر تفصيلاً لأن وضع نماذج التشتت يتطلب معلومات زمنية حيّزية وأكثر تفصيلاً. ولا بد من مراعاة هذا في تصميم حصر الانبعاثات لكي لا يُحدّ استخدامه في المستقبل.

ب) ***محيط النظام*** — يحدد محيط النظام المساحة الحيّزية والوظيفية التي ستُحسَب الانبعاثات داخلها. ويمكن أن تكون المساحة الحيّزية السور المحيط بالمطار و/أو ارتفاعاً معيناً (ارتفاع الاختلاط) و/أو طرق الدخول المؤدية إلى المطار. وعادة ما يتم تحديد المساحة الوظيفية عن طريق مصادر الانبعاثات المرتبطة وظيفياً بعمليات المطار، ولكنها يمكن أن تقع خارج محيط المطار (مثل مستودعات الوقود).

ج) ***عمليات التحديث*** — تؤثر وتيرة عمليات تحديث الحصر على تصميم الحصر وأي قواعد بيانات أو جداول بيانات مطبّقة (مثل قيمة سنوية واحدة مقابل قيم عديدة خلال السنة تحدّد التقسيم الزمني اللازم). ومن المهم أيضاً تقييم الجهود المطلوبة والمتاحة لتجميع الحصر بوتيرة معيّنة.

د) ***مستوى الدقة/التشعّب*** — مستوى الدقة اللازم لمدخلات البيانات تحدّده الدقة المطلوبة للتحليل ومستوى معرفة المحلّل. ومن شأن أن يكون هذا الإرشاد إطاراً لإجراء التحليل على مستويات مختلفة من التشعّب. ويتم تقديم الإرشاد لثلاثة مستويات مختلفة من التشعّب، متى أمكن ذلك:

١) النهج البسيط؛

٢) والنهج المتقدم؛

٣) والنهج المتطوّر.

٣-٢-٢ كما هو مبيّن في الجدول ٣-١، يمكن إجراء حصر الانبعاثات على مستويات تشعّب مختلفة، بحيث يتوقف ذلك على دقة النتائج المطلوبة وكذلك توافر المعرفة والبيانات والموارد الأخرى المساندة. والقصد من هذه المادة الإرشادية أن تكون إطاراً لإجراء دراسات على مستويات مختلفة من التشعّب. وعند إجراء تحليل، ينبغي أيضاً بيان النهج المطبّق.

الجدول ٣-١ حصر الانبعاثات الذي يُجرى على ثلاثة مستويات من التشعّب

الخصائص	النهج البسيط	النهج المتقدم	النهج المتطوّر
التشعّب	المعرفة الأساسية المطلوبة، البيانات اللازمة سهلة وموحّدة ومتوافرة، المنهجية مباشرة	المعرفة المتقدمة، خاصة بالمطار و/أو من المطلوب الوصول إلى مصادر البيانات الإضافية	المعرفة المتعمّقة، التعاون بين الهيئات المختلفة و/أو قد يكون من المطلوب الحصول على بيانات مملوكة ملكية خاصة
الدقة	معتدلة بصفة عامة	حسن	عالية للغاية
الثقة	منخفضة	متوسطة	عالية

٣-٢-٣ ما لم يكن المطلوب بخلاف ذلك لأسباب قانونية محددة أو امتثالاً للأنظمة، يوصى بالاستفادة من أفضل البيانات المتوافرة لوضع قوائم لحصر الانبعاثات مع المراعاة في الوقت ذاته لمستوى الدقة والثقة المطلوب. ويمكن أن يتطوّر هذا إلى اتباع نهوج متقدمة و/أو متطوّرة بدلاً عن اتباع نهج بسيط. ويمكن أيضاً الجمع بين النهوج باتباع نهج واحد لمصدر واحد للانبعاثات واتباع نهج مختلف لمصدر انبعاثات آخر في تجميع الحصر. وفضلاً عن ذلك، يمكن اتباع توليفة من النهوج لمصدر الانبعاثات ذاته حيث تكون البارامترات المختلفة مطلوبة لحساب كتلة الانبعاثات.

٣-٣ أنواع الانبعاثات

٣-٣-١ هناك مجموعة متنوعة من ملوّثات الهواء الموجودة كغازات وانبعاثات جسيمية من الأنشطة المتصلة بالطيران من المحتمل أنها يمكن أن يكون لها تأثير على صحة البشر والبيئة. غير أنها ليست كلها ذات صلة أو مطلوبة لقوائم حصر الانبعاثات. وينبغي الرجوع إلى متطلبات الدولة لتحديد أي أنواع الانبعاثات ضرورية فعلاً للحصر. وبصفة عامة، يمكن اعتبار الأنواع العامة التالية أنواعاً أولية في قوائم حصر الانبعاثات:

أ) أكاسيد النيتروجين، بما في ذلك ثاني أكسيد النيتروجين وأكسيد النيتروجين؛

ب) مواد عضوية متطايرة، بما في ذلك الهيدروكربونات غير الميثانية؛

ج) أول أكسيد الكربون؛

د) كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة، التي توازي أساسا كتلة الكربون الأسود؛

ه) كتلة جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ٢,٥ ميكرومتر وكتلة جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات، حيث مجموع الكتلة المتطايرة المضاف إلى كتلة الجسيمية غير المتطايرة مستخدم كبديل لكتلة جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ٢,٥ ميكرومتر وكتلة جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات[١]؛

و) عدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة الذي يوازي أساسا كتلة الكربون الأسود؛

ز) أكاسيد الكبريت.

٣-٣-٢ يتم أحياناً إدراج ثاني أكسيد الكربون في قوائم الحصر (باستخدام احتراق الوقود الكلّي كأساس للحساب). ويتعيّن الاعتراف بأن ثاني أكسيد الكربون هو شاغل عالمي بدلاً عن أن يكون شاغلاً محلياً على وجه الدقة، ولكن قوائم حصر ثاني أكسيد الكربون المحلية يمكن أن تغذي قوائم الحصر العالمية حيث يكون ذلك مطلوباً.

٣-٣-٣ الأنواع الإضافية من الانبعاثات التي من المحتمل أن تدعو للانشغال بشأن الصحة والبيئة قد تقتضي أيضاً النظر فيها ضمن قواعد حصر الانبعاثات التي تشمل ما تسمّى الملوّثات الخطيرة للهواء. وتوجد أيضاً مستويات منخفضة من الملوّثات الخطيرة للهواء في عادم الطائرات ومعدات المساندة الأرضية في كل من الشكلين الغازي والجسيمي. ولا تزال بحوث الملوّثات الخطيرة للهواء في مرحلة مبكّرة وينبغي ملاحظة أن معرفة عوامل الانبعاث لذلك محدودة للغاية بالنسبة للعديد من هذه الأنواع. ولذلك، قد لا يتسنى وضع قائمة حصر للملوّثات الخطيرة للهواء أو لا يمكن توقّع أن تكون مثل هذه القائمة للحصر على نفس مستوى دقة قوائم حصر الأنواع الأخرى الأكثر شيوعاً. وفي مثل هذه الحالات، سيتعين على السلطات المختصة تقديم المزيد من الإرشاد. وتشمل أمثلة الملوّثات الخطيرة للهواء التي حُددت بوصفها تمثل مصادر المطارات لانبعاثات الهواء (ولكنها لا تقتصر بالضرورة على) ما يلي:

أ) ١,٣-البيوتاداين؛

ب) الأثيتالديهايد؛

ج) الأكرولين؛

---

١ جسيمات عوادم محركات الطائرات أصغر بكثير في القطر الهندسي من ٢,٥ ميكرومتر. لذلك، عادم جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ٢,٥ ميكرومتر يوازي كتلة جسيمات دقيقة قطرها الايروديناميي ١٠ ميكرومترات.

د) البنزين؛

هـ) الجسيمات الدقيقة للديزل؛

و) الفورمالديهايد؛

ز) الرصاص (هذا ذو صلة بالنسبة للوقود المحتوي على الرصاص، مثل غاسولين الطيران، المُستخدم في أنواع قليلة من الطائرات الصغيرة فقط)؛

ح) النفتالين؛

ط) البروبيونالديهايد؛

ي) التولوين؛

ك) الزيلين.

٣-٤ مصادر الانبعاثات المتصلة بالمطارات

٣-٤-١ يمكن العثور في المطارات على مجموعة متنوعة واسعة النطاق وعدد من مصادر الانبعاثات. غير أنه، حسب الأنشطة المحددة للمطارات المنفردة، لا تكون جميع الأنواع من مصادر الانبعاثات موجودة (مثلاً يقع بعضها خارج المطار). ولتفسير هذا التباين على نحو أفضل، تم تجميع مصادر الانبعاثات في أربع فئات:

أ) انبعاثات الطائرات.

ب) انبعاثات الخدمات الأرضية للطائرات.

ج) المصادر المتصلة بالهيكل الأساسي أو بالأشياء الثابتة.

د) مصادر حركة المركبات.

٣-٤-٢ تتألف فئات مصادر انبعاثات الطائرات عادة مما يلي:[٢]

أ) ***المحرك الرئيسي للطائرة*** — المحركات الرئيسية للطائرات داخل محيط تشغيل محدد (من بدء التشغيل إلى التوقف).

ب) ***وحدة الطاقة الإضافية*** — وحدة قدرة قائمة بذاتها على طائرة وتوفر الطاقة الكهربائية/الهواء المضغوط لأجهزة الطائرة خلال العمليات الأرضية.

٣-٤-٣ تتألف مصادر انبعاثات الخدمات الأرضية للطائرات في العادة من ما يلي:

أ) ***معدات المساندة الأرضية*** — معدات المساندة الأرضية الضرورية للخدمة الأرضية للطائرة خلال الاستدارة للعودة في الموقف: وحدات الطاقة الأرضية، وحدات تكييف الهواء، السيارات القاطرة للطائرات، السيور الناقلة، سلالم الركاب، الرافعات الشوكية، الجرارات، شاحنات البضائع، الخ.

ب) ***الحركة في منطقة التحركات المراقبة*** — حركة مركبات وآلات الخدمة (الكانسات، الشاحنات (التموين، الوقود، مياه المجاري) السيارات، الشاحنات الصغيرة، الحافلات، الخ) داخل السور المحيط بالمطار (المنطقة المقيّدة في العادة) التي تسير على طرق الخدمة.

---

٢ هناك مسائل متعلقة بمصادر انبعاثات محتملة ذات صلة بهذه المادة الإرشادية ولكنها لا تشملها وقد تم تحديدها وهي تخضع حاليا للمزيد من الاستقصاء.

ج) ***تزويد الطائرات بالوقود*** — التبخّر من خلال خزانات وقود الطائرات (فتحات التنفيس) ومن شاحنات الوقود أو شبكات خطوط أنابيب الوقود خلال عمليات التزويد بالوقود.

د) ***إزالة الجليد من الطائرات*** — استعمال مواد إزالة الجليد ومنع تكوّن الجليد على الطائرات خلال العمليات الشتوية.

٣-٤-٤ تتألف فئات مصادر الانبعاثات الثابتة أو المتصلة بالهيكل الأساسي من ما يلي:

أ) ***وحدة توليد القدرة/الحرارة*** — التجهيزات التي تولّد الطاقة من أجل الهيكل الأساسي للمطار: غرفة المرجل، وحدات التدفئة/التبريد، المولدات المشتركة.

ب) ***مولد القدرة للطوارئ*** — مولدات بالديزل لعمليات الطوارئ (مثل القدرة للمباني أو لأنوار المدارج).

ج) ***صيانة الطائرات*** — جميع الأنشطة والتجهيزات لصيانة الطائرات، أي الغسيل، النظافة، ورشة الطلاء، منصات اختبار المحركات.

د) ***صيانة المطار*** — جميع أنشطة صيانة تجهيزات المطار (وسائل النظافة، صيانة المباني، الإصلاحات، صيانة المواقع الطبيعية) والآلات (صيانة المركبات، ورشة الطلاء).

ه) ***الوقود*** — تخزين الوقود وتوزيعه ومناولته في مستودعات الوقود ومحطات الوقود على المركبات.

و) ***أنشطة البناء*** — جميع أنشطة البناء المرتبطة بتشغيل المطار وتطويره.

ز) ***التدريب على إطفاء الحريق*** — أنشطة التدريب على إطفاء الحريق مع استخدام أنواع مختلفة من الوقود (الكيروسين، البيوتان، البروبان، الخشب).

ح) ***إزالة الجليد السطحي*** — انبعاثات مواد إزالة الجليد ومنع تكوّن الجليد المستعملة في مناطق تحرّك الطائرات وطرق الخدمة والدخول.

٣-٤-٥ تتألف مصادر انبعاثات الحركة في المنطقة المفتوحة للجمهور من ما يلي:[٣]

أ) ***حركة المركبات*** — الدراجات النارية والسيارات والشاحنات الصغيرة والشاحنات والحافلات والحافلات السفرية المرتبطة بالمطار على طرق الدخول والأرصفة وأرصفة الصعود والمواقف على الموقع أو خارجه (بما في ذلك الانبعاثات التبخرية من إيقاف المحرك وتشغيله وخزان الوقود).

٣-٤-٦ يجري النظر (بالقدر ذي الصلة بالدراسة) في كتلة الانبعاثات من كل من هذه الفئات من المصادر وتُلخَّص المجاميع لتقديم حصر للانبعاثات من المطار بأكمله.

٣-٥ الانبعاثات المحلية والإقليمية

عند قوائم حصر انبعاثات المطار من المهم ملاحظة أن المطار هو دائماً جزء من بيئة أوسع تتجاوز السور المحيط وخط ملكية ميدان الطيران. ولأغراض معينة، مثل إعداد نماذج تكوّن الأوزون، قد تُعد قوائم حصر انبعاثات لمحيط إقليمي أكبر (مثل مستجمع للهواء). وتقوم الهيئات الحكومية المختصة (مثل السلطات المحلية و/أو الإقليمية و/أو الوطنية بإجراء عمليات الحصر الأكبر هذه، وعادة ما يكون ذلك بالتعاون مع المطار. وعلى وجه الخصوص يجب تعيين حدود النظام لتفادي الحساب المزدوج للانبعاثات. وحسب الافتراضات المختارة (مثل المصادر قيد النظر وامتدادها المكاني أو حدود مساحتها) قد يسهم حصر المطار نفسه بنسبة مئوية صغيرة نسبياً فقط في الحصر الإجمالي لانبعاثات المنطقة. غير أن إجراء حصر في حد ومن تلقاء ذاته لا يقدم بالضرورة بياناً لتأثير مصدر للانبعاثات بأكمله. وفي بعض الحالات، يُستخدم إعداد نماذج التشتت لتحديد تأثير نوعية الهواء على نحو أفضل.

٣ مصادر المنطقة المفتوحة للجمهور قد تشمل أيضاً القطارات، التي لا تندرج حالياً في نطاق هذه المادة الإرشادية.

٣-٦ ضمان الجودة

٣-٦-١ تبعاً للوضع المحلي، يمكن أن يكون وضع حصر للانبعاثات عملية متشعبة قد تؤدي إلى بعض التبسيطات أو القيود. وبغية تحقيق نتائج موثوقة بصفة عامة، ينبغي أن تمر قوائم حصر الانبعاثات عبر عملية لمراقبة الجودة خلال وضعها وبعده. وكما يرد في المناقشة التالية، تشمل هذه المراقبة للجودة، ولكن لا تقتصر على، مناقشة المعلومات الناقصة واستخدام الافتراضات وتقديرات الأخطاء وشفافية/إمكانية تتبع مصادر البيانات والمنهجيات والتحقق من النتائج.

٣-٦-٢ ***المعلومات الناقصة*** — بسبب عدم توافر بيانات معيّنة (أي البيانات التشغيلية و/أو عوامل الانبعاث الدقيقة)، قد تكون المعلومات أو البيانات ناقصة. وفي هذه الحالات، ينبغي وضع تقديرات أو افتراضات لها قبل حالات النقص لأنه يمكن تحسين قوائم الحصر أو المنهجيات بمجرد توافر البيانات أو المعلومات. ومن الأصعب عموماً تبرير إضافة مصادر لم يسبق النظر فيها.

٣-٦-٣ ***تقديرات الأخطاء*** — لأسباب تتعلق بالمصداقية ولتقييم دقة أي حصر، فإن تقديرات الأخطاء جزء هام من إعداد الحصر. وعادة ما يكون للبيانات والمعلومات المتوافرة واحد من ثلاثة مستويات للجودة، حسبما هو مبين في ما يلي:

أ) *مقيسة* — تُقاس البيانات فعلاً بأدوات وأساليب تمت معايرتها والتحقق منها أو بدون تلك الأدوات والأساليب، وتُحسب أو يتم بخلاف ذلك تقييمها بوسيلة أخرى مرتبطة مباشرة بمصدر البيانات. ويمكن أن يشمل هذا أيضاً حساب قيمة مقيسة ذات عامل علاقة (أي أخذ تدفق الوقود المقيس فعلاً واستخدام عامل علاقة لثاني أكسيد الكربون يبلغ، مثلاً، ٣ ١٥٠ جراماً لكل كيلوجرام من الوقود لتحديد انبعاثات كتلة ثاني أكسيد الكربون من محركات تحرق الكيروسين).

ب) *محسوبة* — تُحسب البيانات باستخدام الخوارزميات والبيانات المتوافرة غير المرتبطة مباشرة بمصدر البيانات.

ج) *مقدّرة* — تُقدَّر البيانات باستخدام المعلومات المرجعية أو الخبرة من الماضي أو افتراضات المؤهلين.

٣-٦-٤ بالنسبة لكل مستوى لجودة البيانات، يمكن أن يحدَّد مسبقاً عمود خطأ (القيمة ± الانحراف المطلق) أو النسبة المئوية (القيمة ± في المائة) ويمكن حساب خطأ إجمالي. وإذا تم تطبيق ذلك على جميع المصادر، يمكن بسهولة تحديد حيث يكون من الملائم تحسين جودة البيانات أو حيث يمكن قبول مستويات أعلى من الريبة بدون ضرر كبير للنتيجة الإجمالية.

٣-٦-٥ ***الشفافية وإمكانية التتبع*** — بغية إتاحة مراقبة فعالة للجودة ومنع الازدواج المحتمل لحسابات حصر الانبعاثات ببيانات محسّنة، تحتاج منهجية الحساب المطبّقة إلى إيضاح وتوثيق على الوجه السليم. ويجب تحديد وتوفير مراجع مصادر المعلومات وعوامل الانبعاث المستخدمة في عمليات الحصر. وعندما قد لا يكون مصدر بيانات مثالي خياراً قابلاً للتطبيق، يتعين حينئذ تحديد مصادر بيانات أخرى (الخير التالي بعد الأمثل).

٣-٦-٦ ***التحقق*** — ينبغي التحقق من النتائج النهائية وفحصها بالمقارنة مع غيرها عن طريق نظام مراقبة جودة سليم. ويمكن أن يشمل هذا المقارنة ببيانات مرجعية لنظم مماثلة أو إعادة حساب عناصر حصر انبعاثات محددة باستخدام أدوات مختلفة.

٣-٧ التنبؤ

عند إجراء تحليل نوعية الهواء للأحوال الماضية والحالية، قد يرغب المحللون أيضاً في النظر في مساهمة مصادر انبعاثات المطار المستقبلية. وفي إعداد حصر انبعاثات لأحد المطارات يمثل تصورات مستقبلية (مثل ٥ سنوات أو ١٠ سنوات أو ٢٥ سنة في المستقبل)، ينبغي استخدام منهجية تتناول جميع عناصر المطار، بما في ذلك عمليات الطائرات وتحركاتها وإنهاء إجراءات الركاب ومناولة البضائع واحتياجات الهيكل الأساسي للمطار وأحجام حركة المركبات السطحية. ويمكن أن تصبح منهجيات التنبؤ مهام متشعبة للغاية وكثيراً ما تتطلب العديد من الافتراضات

و/أو المعرفة المسبقة بالمطار والمناطق المحيطة به وتقلبات السوق واستخدام معدات شركات الطيران والتشريعات التنظيمية. ووصف منهجيات التنبؤ التفصيلية يتجاوز بصفة عامة نطاق هذه الإرشادات لحصر الانبعاثات.

المرفق ١ بالفصل الثالث

منهجيات تقدير انبعاثات محركات الطائرات

١- مقدمة

١-١ قد تُحظى محركات الطائرات الرئيسية، أحياناً، بأكبر قدر من اهتمام الأطراف المعنية بانبعاثات الطيران لأنها يمكن أن تكون المصدر السائد المتعلق بالمطار. ويوصي هذا المرفق بمنهجيات لتقدير انبعاثات محركات الطائرات. والمحركات الرئيسية هي تلك المستخدمة لدفع الطائرة إلى الأمام. وتشمل المحركات الأخرى على متن الطائرة وحدات الطاقة الإضافية التي توفر الطاقة الكهربائية والهواء المنفَّس المضغوط عند سير الطائرة أو وقوفها على البوابة ولا يتوافر بديل لذلك. ولا يُسمح بإراقة الوقود من خزانات الطائرة ولذلك لا تُعالج بوصفها مصدراً للانبعاثات.

١-٢ تُصنَّف المحركات الرئيسية عموماً إما كمحركات توربينية بمراوح داخلية ذات توربينات غازية (يشار إليها أحياناً باسم توربينية نفاثة) وكمحركات توربينية مروحية وقودها كيروسين الطيران (يشار إليه أيضاً باسم وقود الطائرات النفاثة) وإما كمحركات مكبسية بالاحتراق الداخلي وقودها غاسولين الطيران.

انبعاثات المحركات الرئيسية بالقرب من المطارات

١-٣ تتوقف الانبعاثات من توليفة المحركات الرئيسية لطائرة منفردة أساساً على ثلاثة بارامترات، أي: الوقت المقضي في الطريقة وأدلة انبعاث المحرك الرئيسية وتدفق وقود المحرك الرئيسي. وتشمل الانبعاثات الإجمالية من أسطول يخدم مطاراً أيضاً بارامترين إضافيين هما حجم/نوع الأسطول وعدد العمليات. وفي حساب انبعاثات الطائرات في مطار معين، ستفرض الدقة المطلوبة لحصر الانبعاثات القيم والمنهجية المستخدمة (مثل النهج البسيط والمتقدم والمتطوّر) لتحديد كل من هذه البارامترات. وفي حين تحاول هذه الوثيقة تبسيط تحليل الحصر في ثلاثة نهوج، فمن المتفق عليه عموماً أنه يجوز للمستخدم أحياناً اتباع نهج مختلط، يجمع بين عناصر من النهوج البسيط والمتقدم والمتطوّر. غير أنه ينبغي الحرص على عدم اتباع نهج مختلط عند المبالغة في جميع الجوانب، وبذلك يتم عن غير قصد تخصيص عبء أثقل لانبعاثات الطائرات عند تقييم قوائم حصر المطارات. وبالتالي، يوصى بأن يقوم المحلل بتوثيق تام لمنهجية التحليل بما في ذلك كيفية استخدام هذه المادة الإرشادية. ويخضع هذا للمزيد من المناقشة في القسم الرابع. وتوفر المعلومات التالية أوصافاً أساسية لكل من هذه البارامترات:

أ) *الوقت المقضي في الطريقة* هو الفترة الزمنية، المقيسة بالدقائق عادة، التي تقضيها محركات الطائرة فعلاً عند ضبط محدد للقدرة، تتعلق عادة بإحدى طرائق تشغيل الهبوط والإقلاع من دورة الطيران التشغيلي.

ب) *مؤشر الانبعاثات وتدفق الوقود*— يُعرَّف مؤشر الانبعاثات بأنه كتلة الملوّث المنبعثة عن كل كتلة وحدة من الوقود المحروق بالنسبة لمحرك محدد. ويوفر بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات مؤشر الانبعاثات للمحركات المرخصة في وحدات جرامات من الملوّث لكل كيلوجرام من الوقود بالنسبة لأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون، وكذلك تدفق الوقود المحدد حسب الطريقة في وحدات كيلوجرام لكل ثانية، بالنسبة للأنواع الأربعة من ضبط القدرة لخطة ترخيص انبعاثات المحركات. وعند ضرب مؤشر الانبعاثات المحدد حسب الطريقة في تدفق الوقود المحدد حسب الوقت المقضي في الطريقة يكون الحاصل هو معدل انبعاث محدد حسب الطريقة بوحدات من الجرامات بالثانية وإن ضرب معدل الانبعاث هذا بالوقت المقضي في الطريقة (على أساس الوحدات من الثواني) يوفر الحاصل المتمثل بالانبعاث حسب الطريقة المحددة بالوحدات من الجرامات. وللحصول على قوائم حصر أدق، من الضروري إجراء تعديلات لهذه القيم لكي تؤخذ في

الحسبان الأنواع المختلفة من ضبط القدرة وآثار التركيب الخ. وترد معلومات إضافية عن كتلة nvPM مقاسة بالجرامات لكل كيلوجرام (جم/كجم) من الوقود للكتلة الواحدة، و(العدد/كجم (#/kg)) من الوقود بالنسبة للعدد.

٢- ترخيص انبعاثات محركات الطائرات

٢-١ لأغراض ترخيص الانبعاثات، حددت الايكاو مرجعاً معيناً لدورة الهبوط والإقلاع دون ارتفاع ٩١٤ متراً (٠٠٠ ٣ قدم) مستوى سطح الأرض،[١] بالاقتران مع اختبارها للترخيص وإجراءاتها وحدودها للقياس المتفق عليها دولياً (أنظر المجلد الثاني من الملحق السادس عشر للحصول على معلومات إضافية).

٢-٢ تتألف هذه الدورة من أربع مراحل للطرائق مختارة لتمثّل الاقتراب والسير/الدوران البطيء والإقلاع والصعود وهي نسخة أبسط من دورة الطيران التشغيلي (أنظر الجدول ٣-أ١-١). ومن أمثلة تبسيطها أنها تفترض أن التشغيل عند قدرة الإقلاع يتغيّر فجأة إلى قدرة صعود في نهاية شوط الإقلاع وأنه تتم المحافظة على هذا دون تغيير حتى ٠٠٠ ٣ قدم. وفي حين أن دورة الهبوط والإقلاع لترخيص الانبعاثات لا تلتقط التفصيل والاختلافات التي تحدث في العمليات الفعلية، فإنها صُمّمت كدورة مرجعية لغرض مقارنة التكنولوجيا وتكررت إعادة تأكيدها بوصفها كافية وملائمة لهذا الغرض.

الجدول ٣-أ١-١ دورة الهبوط والإقلاع للانبعاثات المرجعية

مرحلة التشغيل	الوقت المقضي في الطريقة (بالدقائق)		ضبط الدفع (نسبة مئوية من الدفع الاسمي)
الاقتراب	٤,٠		٣٠
السير والدوران البطيء على الأرض	٢٦	٧,٠ (داخل) ١٩,٠ (خارج)	٧
الإقلاع	٠,٧		١٠٠
الصعود	٢,٢		٨٥

٢-٣ يُقصد بهذه الدورة للهبوط والإقلاع للانبعاثات المرجعية معالجة عمليات الطائرات دون ارتفاع الاختلاط أو طبقة الانعكاس في الغلاف الجوي. وفي حين أن ارتفاع الاختلاط الفعلي يمكن أن يتفاوت من موقع لآخر، فهو يمتد في المتوسط إلى ارتفاع ٩١٤ متراً (٠٠٠ ٣ قدم) تقريباً، وهو الارتفاع المستخدم في استنتاج الوقت المقضي في الطريقة المحمولة جواً. ومن المحتمل أن الملوّثات المنبعثة دون ارتفاع الاختلاط يمكن أن يكون لها أثر على تركيزات نوعية الهواء المحلي، مع إمكان أن تكون لتلك المنبعثة على مسافة أقرب إلى الأرض آثار أكبر على التركيزات على مستوى سطح الأرض.[٢]

٢-٤ استُمدَّ ترخيص الخصائص المختارة لدورة الهبوط والإقلاع من عمليات مسح في السبعينات. وقد عبّرت عن أعلى عمليات الحركة (أي الأحوال المعاكسة المعتادة) بدلاً عن عمليات الهبوط والإقلاع المتوسطة. وكان تبرير استخدام هذه المعايير لانبعاثات الطائرات

١ في دراسة لحصر الانبعاثات، يشار إلى ٠٠٠ ٣ قدم فوق مستوى سطح الأرض بوصفه منسوب نقطة المطار المرجعية المختارة المستخدم في الدراسة.

٢ تقر الايكاو بأن الدول المختلفة قد تكون لها معايير أو عتبات مختلفة لتعيين ما إذا كان لأي ملوّث بصورته المنبعثة أثر محلي. وفي العديد من الحالات، يتم الإعراب عن هذا في صيغة ارتفاع أقصى ينبعث إليه ملوّث معيّن. وقد تعيّن بعض الدول ارتفاعاً محدداً لمثل هذه الأغراض. وقد توجه دول أخرى بالاضطلاع بإعداد نماذج لتحديد الارتفاع الذي قد يكون للملوّثات عليه تأثير محلي في منطقة معينة. وكثيراً ما يشار إلى هذا بوصفه "ارتفاع الاختلاط" داخل "الطبقة الحدّية" من الغلاف الجوي. وبصفة أساسية، فإن "ارتفاع الاختلاط" هو ارتفاع الاختلاط الرأسي للغلاف الجوي الأدنى. وبصفة أساسية أيضاً، فإن "الطبقة الحدّية" هي ذلك الجزء من الغلاف الجوي الذي يتأثر مباشرة بوجود سطح الأرض. والدول التي تعيّن ارتفاعاً للاختلاط ينبغي تحديده لأغراض تقييم نوعية الهواء المحلي عادة ما تكون قد قبلت نماذج لمثل هذه التحليلات و/أو تحدد ارتفاعاً بديلاً لارتفاع الاختلاط، مثل ٠٠٠ ٣ قدم.

يستند إلى حد كبير إلى حماية نوعية الهواء في وحول المحطات الجوية العاصمية الكبرى خلال الأحوال الجوية التشغيلية بدرجة عالية أو المعاكسة.

٢-٥ جرى الإقرار بأنه حتى بالنسبة للطائرات من نفس الطراز توجد اختلافات كبيرة في أوقات التشغيل الفعلية وقيم الضبط بين المطارات الدولية المختلفة، وحتى في مطار واحد يمكن أن توجد اختلافات كبيرة من يوم لآخر أو طوال يوم واحد. غير أن استخدام دورة ثابتة للهبوط والإقلاع وفّر إطاراً مرجعياً ثابتاً يمكن بالاستناد إليه مقارنة الاختلافات في أداء انبعاثات المحركات.

٢-٦ ومن ثم، فإن الانبعاثات المرجعية لدورة الهبوط والإقلاع هي بالضرورة نموذج اصطناعي يخضع لتناقضات عديدة عند مقارنته بأحوال العالم الحقيقية في المطارات المختلفة. وقد تم تصميمها كدورة مرجعية لغرض ترخيص وبيان الامتثال لمعايير الانبعاثات السارية.

٢-٧ دورة الهبوط والإقلاع هذه، الموضوعة لأغراض الترخيص، قد تكون أيضاً ملائمة لحسابات حصر الانبعاثات البسيط. غير أنه، في ضوء الافتراضات العامة، من المعتاد أن استخدام هذه الدورة لن يعبّر عن الانبعاثات الفعلية. وإذا توافرت بيانات عمليات أكثر دقة، فينبغي استخدام هذه البيانات بدلاً عن ذلك لتحقيق حصر أدق.

٢-٨ كما هو مبيّن في موضع آخر من هذه الإرشادات، فإن قواعد الايكاو لانبعاثات محركات الطائرات تشمل انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربون وأكاسيد النيتروجين وكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة والدخان. وهي لا تنطبق إلا على محركات الطائرات التوربينية النفاثة والتوربينية بمراوح داخلية دون الصوتية والأسرع من الصوت التي يزيد تصنيف دفعها على أو يساوي ٢٦,٧ كيلونيوتن (الملحق السادس عشر، المجلد الثاني). وقد استثنت الايكاو، من قواعدها، المحركات التوربينية بمراوح داخلية والتوربينية النفاثة الصغيرة (التي يقل تصنيف دفعها عن ٢٦,٧ كيلونيوتن) والتوربينية المروحية والمكبسية والمحركات التوربينية بمهواة ووحدة الطاقة الإضافية ومحركات طائرات الطيران العام على أساس العدد الكبير للغاية من الطرز وتكلفة الامتثال غير الاقتصادية واستخدام الوقود القليل بالمقارنة مع الطائرات النفاثة التجارية.

بيانات ترخيص الانبعاثات

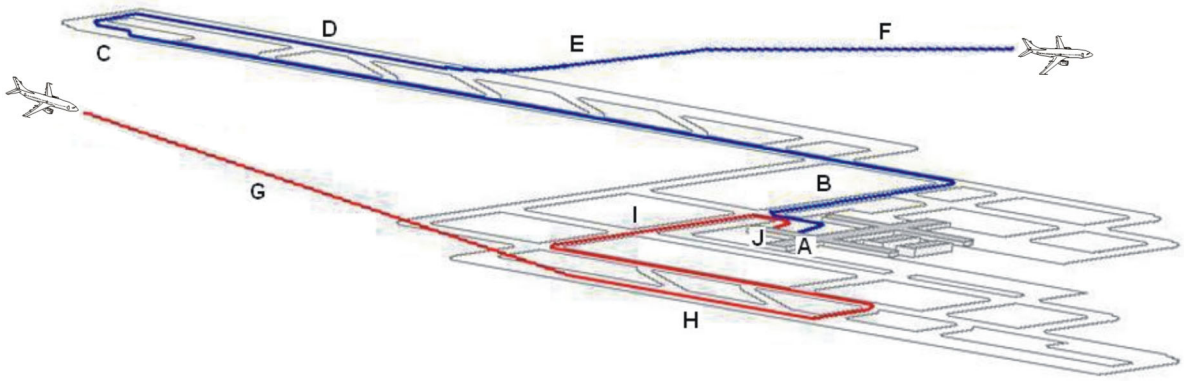
٢-٩ يُجرى اختبار ترخيص الانبعاثات على محركات غير مركّبة في مرفق اختبار ثابت مجهّز بالآلات وتمت معايرته. وتُجرى قياسات انبعاثات المحركات وأدائها على عدد كبير من درجات ضبط القدرة (عادة ما تكون أكثر من عشر درجات) تشمل الطائفة الكاملة من الدوران البطيء إلى القدرة الكاملة وليس فقط بطرائق الايكاو المقررة الأربع للهبوط والإقلاع. ويتم تصحيح البيانات المقيسة بالرجوع إلى أحوال أداء المحرك المرجعي والأحوال الجوية المرجعية للغلاف الجوي المعياري الدولي على مستوى سطح البحر ورطوبة الهواء البالغة ٠,٠٠٦٣٤ كيلوجرام من الماء لكل كيلوجرام من الهواء، باتباع إجراءات استقرّ العمل بها (أنظر الملحق السادس عشر، المجلد الثاني، للحصول على مزيد من المعلومات).

٢-١٠ يتم الإبلاغ عن بيانات الايكاو لترخيص انبعاثات المحركات بالنسبة لأول أكسيد الكربون والهيدروكربون وأكاسيد النيتروجين، إلى جانب معدلات تدفق الوقود، كمجموعة من أربع درجات مرجعية لضبط القدرة تُعرَّف بوصفها "الإقلاع" و"الصعود" و"الاقتراب" و"السير/الدوران البطيء" على التوالي وللأوقات المقررة لكل من هذه الدرجات للقدرة (أي "الوقت المقضي في الطريقة"). غير أنه من المطلوب الإبلاغ عن انبعاثات الدخان كقيمة قصوى لكثافة الدخان فقط، يُبلغ عنها كرقم دخان لكل محرّك، بصرف النظر عن ضبط القدرة (على الرغم من أنه تم الإبلاغ عن أرقام الدخان المحددة حسب الطريقة بالنسبة لغالبية المحركات المرخّصة).

٢-١١ قيم ترخيص الانبعاثات المبيّنة آنفاً يتم توفيرها في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات، وذلك في الوقت ذاته كصحائف بيانات محركات فردية وكذلك كجدول بيانات يحتوي على البيانات بالنسبة لجميع المحركات المرخّصة التي قام الصانعون بتوفير البيانات بشأنها. وهذا البنك للبيانات متاح للجمهور عامة على شبكة الانترنت بالموقع http://easa.europa.eu/documentlibrary/icao-aircraft-engine-emissions-databank ويتم تحديثه دورياً. ويُقدَّم في الإضافة (أ) لهذا المرفق مثال لصحيفة بيانات انبعاثات أحد المحركات.

٣- وصف دورة الطيران التشغيلية

٣-١ تتسم مرحلتا المغادرة والوصول لدورة طيران تشغيلية فعلية لطائرة تجارية بتشعّب أكثر من مراحل الطرائق الأربع (الاقتراب والسير/الدوران البطيء والإقلاع والصعود) المُستخدمة لأغراض ترخيص الايكاو. وتستخدم الدورات الفعلية درجات مختلفة لضبط دفع محركات الطائرات، وتتأثر أوقات درجات الضبط تلك بعوامل مثل طراز الطائرة وخصائص نسق المطار والمدرج والأحوال الجوية المحلية. غير أنه يوجد عدد من القطاعات المشتركة بين جميع دورات الطيران التشغيلية تقريباً. وهذه مصوّرة في الشكل ٣-أ١-١ ومبيّنة في الأقسام التالية.



الشكل ٣-أ١-١ — دورة الطيران التشغيلية

المغادرة

A. *بدء تشغيل المحرك* — من المعتاد بدء تشغيل المحركات الرئيسية قبل، أو خلال، الدفع للخلف من بوابة/موقف الطائرة. وعندما لا تتطلب الطائرة دفعاً للخلف، يُبدأ تشغيل المحركات قبل السير مباشرة.

B. *السير على المدرج* — عادة ما تسير الطائرة باستخدام جميع المحركات إلى المدرج أو منطقة الانتظار قبل دخول المدرج، مع أن الطائرات قد تسير باستخدام أقل من جميع المحركات في بعض الظروف. وعادة ما يُجرى السير إلى الخارج بضبط القدرة على الدوران البطيء/السير، بخلاف انفتاحات القدرة بقوة خلال فترات وجيزة للتغلّب على القصور الذاتي الأولي عند بدء السير أو، عند الضرورة، لإنجاز الاستدارات الحادة.

C. *الانتظار على الأرض* — قد يُطلب من الطائرة، الوقوف في صف في انتظار الإذن بدخول المدرج والسير إلى موقع الإقلاع. وعادة ما يتم ضبط المحركات الرئيسية على الدفع بالدوران البطيء مع انفتاحات القدرة بقوة خلال فترات وجيزة للتحرّك إلى الموقع.

D. *شوط الإقلاع إلى ترك الأرض* — يتم تعجيل الطائرة على طول المدرج إلى سرعة الدوران المحددة سلفاً في نهاية شوط الإقلاع مع ضبط المحركات الرئيسية على قدرة الإقلاع. ونادراً ما يستخدم المشغّلون القدرة الكاملة للإقلاع، وبدلاً عن ذلك، يتم عند بداية شوط الإقلاع تحديد ضبط للدفع مقرر سلفاً. ويستخدم المشغّلون إما معدلات دفع أدنى للإقلاع وإما، بصورة أكثر تواتراً، درجات ضبط مخفّضة (مرنة مثلاً) للدفع، يحددها وزن الطائرة الفعلي عند الإقلاع وطول المدرج والعوامل الجوية السائدة. وتتم أحياناً في المرحلة المبكّرة معالجة الخانق خلال شوط الإقلاع، وبذلك تُضبط الخوانق في البداية على موضع متوسط، ثم بعد ذلك بثوان يتم تقديمها إلى ضبط قدرة الإقلاع المحددة سلفاً.

E. *الصعود الابتدائي إلى خفض القدرة* — بعد ترك الأرض، يُرفَع جهاز هبوط الطائرة (أي العجلات) وتصعد الطائرة بسرعة ثابتة بضبط قدرة الإقلاع الابتدائية حتى تصل الطائرة إلى ارتفاع خفض القدرة (أي بين ٨٠٠ و١ ٥٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض) حيث يتم إبطاء الخوانق.

F. *التعجيل والطيران في شكل متناسق والصعود أثناء الطريق* — بعد خفض الخانق، تستمر الطائرة في الصعود بضبط دفع يقل عن ذلك الذي استُخدم للإقلاع ويلي ذلك سحب القلابات/الأضلاع عندما تعجّل الطائرة وتصل إلى ارتفاع الطيران المستقيم.

الوصول

G. *الاقتراب النهائي وتمديد القلابات* — يتبع الاقتراب النهائي المستقر من النقطة المحددة للاقتراب النهائي ميل انحدار متوقعاً نسبياً بدرجات دفع منخفضة من المحركات. وتتم زيادة درجات ضبط الدفع لإبطال المقاومة الإضافية عند إنزال القلابات وجهاز الهبوط، بينما تنخفض السرعة نحو مناورة الهبوط.

H. *مناورة الهبوط والملامسة وشوط الهبوط* — عادة ما يتم إبطال الخوانق إلى الدوران البطيء خلال مناورة الهبوط وشوط الهبوط. ويلي ذلك استعمال كوابح العجلات و، عند الملاءمة، الدفع العكسي لإبطاء الطائرة على المدرج.

I. *السير من المدرج إلى موقع الوقوف/البوابة* — السير من الداخل إلى المدرج هو عملية مماثلة للسير إلى الخارج إلى المدرج المبيّن أعلاه، غير أن المشغّلين قد يوقفون محركاً واحداً أو أكثر، حسبما يكون ملائماً، خلال السير اذا سمحت الفرصة.

J. *إيقاف المحركات* — يتم إيقاف المحركات المتبقية بعد توقف الطائرة عن السير وتوافر القدرة من أجل الخدمات على متن الطائرة.

٣-٢ عادة ما يقتصر تشغيل وحدة الطاقة الإضافية، بالنسبة للطائرات المجهزة بهذه المعدات، على الفترات التي تكون فيها الطائرات سائرة أو واقفة في المحطة. ومن المعتاد إغلاق وحدة الطاقة الإضافية بعد بدء تشغيل المحركات الرئيسية مباشرة، وبعد الهبوط يُبدأ تشغيل وحدة الطاقة الإضافية عموماً عند اقتراب الطائرة من موقع الوقوف بالمنطقة النهائية. وإذا أوقف واحد أو أكثر من المحركات الرئيسية خلال السير، قد يكون من الضروري أيضاً بدء تشغيل وحدة الطاقة الإضافية خلال السير إلى الداخل. ويحدد عدد من المطارات أوقاتاً قصوى لتشغيل وحدة الطاقة الإضافية، وذلك أساساً للحد من الضوضاء في المنطقة النهائية.

٣-٣ حسب ما يرد في المناقشة التالية، يتم القياس الكمّي لنشاط الطائرات في أي مطار إما من حيث دورات الهبوط والإقلاع وإما من حيث العمليات. وتمثّل أي عملية إما هبوطاً وإما إقلاعاً، ويمكن أن تساوي عمليتان دورة هبوط وإقلاع واحدة (مثلاً السير إلى الخارج والإقلاع والهبوط والسير إلى الداخل).

٤- نهوج حساب الانبعاثات

٤-١ توجد نهوج، أو منهجيات، مختلفة للقياس الكمّي لانبعاثات الطائرات — ولكل منها درجة دقة ودرجة عكسية للريبة.

٤-٢ يشمل هذا القسم ثلاثة نهوج عامة للقياس الكمّي لانبعاثات محركات الطائرات، ومع ذلك فلكل منها عدة مستويات تشعّب مضمّنة فيه. وقد يتضمن كل نهج خيارات مختلفة لبارامترات وعوامل مساهمة معيّنة، على نحو يتوقف على توافر البيانات والمعلومات:

أ) النهج البسيط هو أقل النهوج تعقيداً، ويتطلب قدراً أدنى من البيانات ويوفّر أعلى مستوى من الريبة كثيراً ما ينتج عنه تقدير مبالغ فيه لانبعاثات الطائرات. وهو يستخدم المعلومات العامة وجداول البيانات المتوافرة بسهولة بالغة ويتطلب قدراً أدنى من المعلومات عن المطار على وجه التحديد. وهذا هو أكثر نهج أساسي لتقدير انبعاثات محركات الطائرات يتم توفيره في هذه الإرشادات. والبيانات الوحيدة المطلوبة عن المطار على وجه التحديد هي عدد تحركات الطائرات (خلال فترة معينة مثل سنة) وطراز كل طائرة معنية بكل حركة (الخيار (أ)) أو بعض المعلومات الأساسية الإضافية عن المحرك المستخدم لطراز كل طائرة (الخيار (ب)).

لا ينبغي اتباع النهج البسيط إلا كوسيلة لإجراء تقدير أولي لانبعاثات محركات الطائرات في أحد المطارات. وبالنسبة لأكثر الأنواع تلويثاً، فإن النهج معتدل عموماً، ويعني أن النتيجة كثيراً ما ستبالغ في تقدير المستوى الإجمالي لانبعاثات محركات الطائرات. غير أنه بالنسبة لبعض أنواع الانبعاثات والطائرات الأقل شيوعاً، قد تكون الانبعاثات الناتجة عنها مقدرة بأقل من قدرها. وعلى هذا النحو، من غير الواضح مدى دقة تقديم النهج البسيط حساب لانبعاثات محركات الطائرات الفعلية في مطار معيّن.

ب) يتسم النهج المتقدم بمستوى أكثر دقة بصدد طرز الطائرات وأنواع المحركات وحسابات مؤشر الانبعاثاتات والوقت المقضي في الطريقة. ويتطلب هذا النهج معلومات متصلة بالمطار على وجه التحديد أو افتراضات مشروطة لا تزال متوافرة بصورة عامة ولكن قد يصعب الحصول عليها. وهو يعبّر عن الأحوال المحلية في تضمينه لنوع ما من حساب الأداء للطائرات. وتنتج هذه التحسينات عن التعبير عن انبعاثات المحركات الرئيسية بصورة أدق من النهج البسيط، ومع ذلك لا تزال الانبعاثات الإجمالية تعتبر معتدلة.

ج) يعبّر النهج المتطوّر على النحو الأفضل عن انبعاثات الطائرات الفعلية. وهو أشمل نهج، ويتطلب القدر الأقصى من البيانات ويوفّر أعلى مستوى من اليقين. ويتجاوز النهج المتطوّر بيانات ترخيص الهبوط والإقلاع والوقت المقضي في الطريقة ويستخدم البيانات الفعلية بشأن الأداء التشغيلي للمحركات/للطائرات. ويتطلب اتباع هذا النهج معرفة أكبر بعمليات الطائرات والمحركات وسيتطلب في بعض الحالات استخدام البيانات المملوكة ملكية خاصة أو البيانات أو النماذج التي عادة ما لا تتوافر في الملك العام. مما يتطلب في معظم الحالات أن يجري المستخدمون مستويات أعلى من التحليل.

٤-٣ توفّر المنهجيات البديلة بصورة تدريجية درجة أعلى من الدقة ودرجة عكسية من الريبة. ويشكّل الغرض والحاجة للقياس الكمّي لانبعاثات الطائرات الدافع لمستوى الدقة المطلوب في أي حصر، وهو بدوره يحدد المنهجية الملائمة. ويتمثل عامل ثانوي في توافر البيانات.

ومع أن إجراء تحليل قد يسوّغ درجة عالية من الدقة، فقد لا تكون ممكنة بالنسبة لبعض عناصر التحليل بسبب الافتقار إلى توافر البيانات. وتحثّ الايكاو على أنه إذا كان أي حصر للانبعاثات يتعلق بسياسات ستؤثّر على عمليات الطائرات في مطار معيّن، ينبغي من ثم أن تستند الحسابات إلى أفضل البيانات المتوافرة ولا ينبغي عادة اتباع النهج البسيط. وعند توافر المزيد من المعلومات عن عمليات الطائرات في أحد المطارات، فمن الملائم أكثر حينئذ اتباع نهج أكثر تقدماً.

٤-٤ من المهم أيضاً ملاحظة أنه، على الرغم من أنه في أبسط مستوياته قد يتمكن الأفراد من وضع حصر للانبعاثات، من المحتمل أن الأساليب المتقدمة والمتطورة تقتضي شكلاً ما من التعاون مع مصادر الطيران الأخرى. وعلى سبيل المثال، فإن هوية الطائرة الفعلية وأنواع المحركات والوقت الواقع والدقيق المقضي في الطريقة ودرجات ضبط قدرة المحرك الفعلية المستخدمة في التحليل تتطلب بيانات يصعب الحصول عليها في كثير من الأحيان. وعموماً، كل ما كان الأسلوب أكثر تطوراً، كل ما سيكون من المطلوب مستوى أعلى من التعاون.

٤-٥ تؤكد الايكاو على أهمية استخدام المطارات والدول لأفضل البيانات المتوافرة عند تجميع حصر لانبعاثات محركات الطائرات. وتزداد دقة منهجيات الايكاو لحصر الانبعاثات، وتنتقل من بسيطة إلى متقدمة وفي نهاية المطاف إلى نهج متطور. وتوصي الايكاو باختيار نهج، أو أجزاء منه، للتعبير عن الدقة المنشودة، أو المطلوبة، في النتائج. ويمكن أن يشير ممارس نوعية الهواء إلى هذه النهوج بوصفها نهج الايكاو البسيط أو المتقدم أو المتطوّر. ومن الجدير بالملاحظة أيضاً أنه يمكن الجمع بين الأساليب وأنه لمجرد اتباع نهج بسيط لجزء من حصر لا يحول ذلك دون اتباع نهوج أكثر دقة للأجزاء المتبقية من حصر الانبعاثات.

٤-٦ يوفّر الجدول ٣-أ١-٢ لمحة عامة لنهوج الحساب. ويتضمن قوائم بكل من البارامترات الأربعة الأولية (خلطة الأسطول والتحركات والوقت المقضي في الطريقة ومؤشر الانبعاثات) إلى جانب عوامل مساهمة أخرى. وأُدرجت أيضاً تفسيرات لكيفية تحديد كل من هذه البارامترات باتباع النهوج الثلاثة (البسيط والمتقدم والمتطوّر).

٤-٧ عند اختيار نهج لوضع حصر لانبعاثات الطائرات، يمكن اختيار خليط من النهوج والخيارات المختلفة. ويستند الاختيار إلى توافر البيانات والمعلومات، وكذلك الدقة المطلوبة للحصر. والعناصر المختلفة حسبما ترد في القائمة وتوصف في الجدول ٣-أ١-٢ هي إلى حد ما مستقلة بعضها عن بعض، أي لا يتعيّن بالضرورة أن تجتمع كل عناصر "الخيار (ب)" معاً.

٤-٨ لأسباب منطقية ومتعلقة بالاتساق، يترافق عنصرا "الأسطول" و"التحركات" بالنسبة لكل نهج. والنهج البسيط، الخيار (أ)، لا يمكن خلطه بالخيارات أو النهوج الأخرى، ويصدق القول نفسه على النهج المتطوّر. ويمكن خلط العناصر الأخرى (النهج البسيط والخيار (ب) والخيارين (أ وب)).

٤-٩ كمقدمة للتفاصيل التي ينطوي عليها كل نهج، ترغب الايكاو في وضع المفهوم العام داخل كل أسلوب. وبإيجاز، يبدأ الحصر بتوليفة منفردة من الطائرة/المحرك ويطبّق بصورة عامة البارامرات التشغيلية وبارامترات الانبعاثات في عملية من خطوتين، على النحو التالي:

أ) ***الخطوة الأولى*** — تُحسب الانبعاثات من توليفة طائرة/محرك منفردة عن طريق جمع الانبعاثات من كل طرائق التشغيل التي تشكل دورة هبوط وإقلاع، حيث يمكن التعبير عن الانبعاثات من طريقة واحدة بوصفها:

١) الانبعاثات من طريقة لتوليفة طائرة/محرك = الوقت المقضي في الطريقة × الوقود المستخدم (بالقدرة الملائمة) × مؤشر الانبعاثات (بالقدرة الملائمة) × عدد المحركات.

٢) ثم تكون الانبعاثات من دورة طيران تشغيلي واحدة للهبوط والإقلاع هي حاصل جمع الأجزاء المنفردة من الدورة. وفي الأساليب الأكثر تطوّراً، قد لا تكون بيانات مؤشر الانبعاثات وتدفق الوقود ثابتة طوال الوقت المقضي في الطريقة.

ب) ***الخطوة الثانية*** — تُحسب الانبعاثات الإجمالية عن طريق جمع النطاق الكامل لتوليفات الطائرة/المحرك وعدد دورات الهبوط والإقلاع للفترة المطلوبة.

الجدول ٣-أ١-٢ — لمحة عامة لنهوج الحساب

البارامترات الرئيسية	النهج البسيط		النهج المتقدم		النهج المتطوّر
الأسطول (توليفات الطائرة/المحرك)	تحديد طرز مجموعات الطائرات (مثلاً جميعها B737 أو جميعها A319/320/321)		تحديد الطائرات والطرز الممثلة للمحركات (مثلاً جميعها A320 مع ٥٠٪ V52527 و٥٠٪ CFM56-5B4/3)		الطراز/الطراز الفرعي الفعلي للطائرات وتوليفات المحركات (بحسب رقم الذيل والمعرّف الفريد للمحرك أو ما ماثله)
التحركات	عدد تحركات الطائرات بحسب طراز الطائرة (وفقاً لجدول البحث)، كما هو معرّف في "أسطول"		عدد تحركات الطائرات بحسب توليفات محركات الطائرات كما هي معرّفة في "أسطول"		عدد تحركات الطائرات بحسب رقم ذيل الطائرة
حساب الانبعاثات	الخيار (أ) جدول البحث لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (لا يوجد حساب)	الخيار (ب) حساب جدول البيانات	الحساب القائم على الأداء، الذي من المحتمل أن يعبّر عن بارامترات إضافية مثل السرعة إلى الأمام، الارتفاع، الأحوال المحيطة (المتوقفة على النموذج)		قائم على الأداء مع بيانات فعلية للمحركات (P3/T3) ويشمل الأحوال المحيطة
مستويات الدفع	الخيار (أ) لا ينطبق	الخيار (ب) الدفع الإسمي	الخيار (أ) معدل الدفع المخفّض للمطار المتوسط و/أو لمجموعة محددة من الطائرات	الخيار (ب) الدفع المخفّض الإسمي المحسوب بنموذج الأداء	الدفع الفعلي الذي يوفره الناقل الجوي
الوقت المقضي في الطريقة		الخيار (ب) ترخيص الايكاو الهبوط والإقلاع	الخيار (أ) الأوقات المعدّلة في الطريقة (متوسط المطار المحدد أو الأوقات الفعلية لطريقة واحدة أو عدة طرائق)	الخيار (ب) نموذج الأداء الوقت المقضي في الطريقة المحسوب	القيم الفعلية القائمة على الحركة لجميع الطرائق
تدفق الوقود		الخيار (ب) ترخيص الايكاو قيم بنك البيانات	الخيار (أ) مستمد من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات مع نموذج تحويل الدفع إلى تدفق الوقود	الخيار (ب) مستمد من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات مع نموذج الأداء	قيم منقحة باستخدام الأداء الفعلي والبيانات التشغيلية المستمدة من الناقل الجوي
مؤشر الانبعاثات	الخيار (أ) اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ الهبوط والإقلاع كتلة الانبعاثات بحسب طراز الطائرة	الخيار (ب) ترخيص الايكاو قيم بنك البيانات	الخيار (أ) مستمد من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات ومستوى الدفع من خلال الأسلوب المناسب للانحناء لأسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود	الخيار (ب) مستمد من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات من خلال الأسلوب المناسب للانحناء لأسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود	قيم منقحة باستخدام الأداء الفعلي والبيانات التشغيلية المستمدة من الناقل الجوي
انبعاثات بدء التشغيل	لا يُنظر فيه		يُنظر في إدراجه — أنظر الفقرات من ٦-٥٣ إلى ٦-٥٩		يُنظر في إدراجه — أنظر الفقرات من ٦-٥٣ إلى ٦-٥٩
تدهور المحرك	لا تنظر فيه — أنظر الفقرات من ٦-٤٤ إلى ٦-٥٢		لا تنظر فيه — أنظر الفقرات من ٦-٤٤ إلى ٦-٥٢		لا تنظر فيه — أنظر الفقرات من ٦-٤٤ إلى ٦-٥٢

٥- أسطول الطائرات وتحرّكاتها

٥-١ أسطول الطائرات هو وصف عام للتوليفات من الطائرات والمحركات المختلفة التي تخدم مطاراً. وأسطول الطائرات، في أبسط شكل له، يمكن تصنيفه عموماً وفقاً لموصّفات كثقيل وكبير وصغير وتوربيني مروحي ومكبسي مثلاً. غير أنه لأغراض حصر انبعاثات الطائرات، من الضروري عادة تحديد الأساطيل بمزيد من الدقة (مثلاً، بحسب طراز الطائرة).

٥-٢ يمكن تصنيف الطائرات بصفة عامة وفقاً للصانع والنموذج. وعلى سبيل المثال، تعني "A320" إيرباص من النموذج 320 أو "B737" تمثل بوينغ 737، مع أنه من الجدير بالملاحظة أن أي طراز عام لطائرة قد يتضمن اختلافات كبيرة في تكنولوجيا المحركات وخصائص انبعاثات تختلف كثيراً بين الطرز المختلفة والمحركات التي تناسبها.

٥-٣ يمكن لتصنيف أكثر وصفاً لطراز طائرة أن يتضمن أيضاً رقم السلسلة لكل نموذج، مثل B747-400 بالنسبة للسلسلة 400 من الطائرة بوينغ B747. ويساعد هذا على تحديد حجم محرك الطائرة والتكنولوجيا المستخدمة فيه وهو ضروري من أجل حصر أدق للانبعاثات. ومع ذلك، حتى في فئة واحدة مثل طائرات بوينغ B744، قد يكون لمشغلي الطائرات أنواع محركات مختلفة لأسباب خاصة بهم.

٥-٤ أخيراً، أدق تمثيل للطائرة هو تحديد نموذج الطائرة وسلسلتها إلى جانب المحركات الفعلية المركّبة على الطائرة والتعديلات التي تؤثر على أداء انبعاثاتها (مثلاً طائرة B777-200IGW بمحركات GE90-85B مع غرف احتراق DAC II). ونظراً لأن الطائرة ذاتها لا تصدر انبعاثات، فإن الحصول على معلومات تفصيلية عن المحركات المركبة على أسطول الطائرات عنصر ضروري لإعداد حصر دقيق للانبعاثات.

أسطول الطائرات البسيط

٥-٥ من أجل النهج البسيط، تم تبسيط العنصرين الأولين لأسطول الطائرات (الطائرات وطرز المحركات مثلاً) في قائمة بطرز الطائرات التي توفَّر بالنسبة لها بيانات انبعاثات محسوبة مسبقاً. وبالنسبة لكل طائرة، أفتُرض أن طراز المحرك هو أكثر طراز محرك شائع في التشغيل دولياً بالنسبة لذلك الطراز من الطائرات،[٣] وتتبدى الانبعاثات من ذلك الطراز من المحركات في عوامل الانبعاث المرتبطة به. ويتضمن الإضافة (ب) لهذا المرفق الجدول ب-١ الذي ترد فيه قائمة من ٦٣ طائرة ويوفّر بيانات انبعاثات بالنسبة لكل من طرز محركاتها.[٤]

٥-٦ إذا كان الأسطول الذي يخدم أحد المطارات يتضمن طائرات غير واردة في الجدول ب-١، ينبغي من ثم استخدام الجدول ب-٣ لتحديد طائرة عامة ملائمة. وأشر إلى العمود المعنون "طائرة الأياتا في المجموعة" لتحديد طراز الطائرة المبيّن في العمود المعنون "طراز الطائرة العام".

٥-٧ إذا لم ترد طائرة في الجدول ب-١ أو في الجدول ب-٣، يوصى من ثم باستخدام معلومات تكميلية مثل الوزن وعدد المحركات وفئة الحجم والمدى لتحديد طائرة مساوية مناسبة واردة في الجدول ب-١ أو ب-٣، مع الاعتراف بأن هذا سيدخل افتراضات إضافية قد تؤثر على دقة أي نتيجة. وفي حالة أي مطار تخدمه بصورة أولية طائرات نفاثة إقليمية و/أو طائرة نفاثة للأعمال و/أو طائرات توربينية مروحية، فمن المستبعد أن يفضي مدى الطائرات إلى نتيجة موثوقة. وفي هذه الحالات، يوصى بأسلوب أكثر تقدماً.

تحركات الطائرات البسيطة

٥-٨ بالنسبة للنهج البسيط، من الضروري معرفة (أو الحصول على تقدير لـ) عدد تحركات أو عمليات الطائرات (الهبوط والإقلاع مثلاً) وطراز الطائرات في المطار خلال فترة محددة (ساعة أو يوم أو شهر أو سنة مثلاً).

---

٣ ابتداء من ٢٠٠٤/٧/٣٠، فإن بيانات الانبعاثات بالنسبة لطائرة B747-300 تستند إلى انبعاثات نسبية لأكثر طرازين شائعين من المحركات.

٤ أعدت اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران هذه البيانات في البداية بناء على طلب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ فيما يتصل بالمبادئ التوجيهية لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ لقوائم حصر غازات الدفيئة الوطنية، المستخدمة من أجل مسائل الانبعاثات العالمية بدلاً عن نوعية الهواء المحلي. ولذلك فهي تشمل بيانات لانبعاثات غازات الدفيئة لا صلة لها بنوعية الهواء المحلي. ويمكن تجاهل هذه لأغراض قوائم الحصر المجمّعة من أجل عمليات تقييم نوعية الهواء المحلي (مع أنه قد يُرغب في بعض المواقع في حصر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لأغراض أخرى). ونظراً لأن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ ركزت بصورة رئيسية على انبعاثات غازات الدفيئة أثناء الرحلة الجوية بأكملها، فإن البيانات لانبعاثات الهبوط والإقلاع تستند إلى قواعد الايكاو للترخيص ولذلك لن تعبّر بدقة عن الانبعاثات الفعلية في إطار تشغيلي. وفي معظم الحالات، فإن استخدام التنقيحات التي تناقَش في النهجين المتقدم والمتطوّر ستساعد على تحقيق حصر أدق للملوّثات ذات الصلة.

٥-٩ تفرض معظم المطارات رسوم انتفاع لتوفير التجهيزات والخدمات، وعادة ما يتم تحصيلها كرسم هبوط. وفي هذه الحالات فإن مشغّلي المطارات لديهم سجلات دقيقة بتحركات الهبوط، بما في ذلك عدد عمليات الهبوط ونوع الطائرة. وتسجّل بعض المطارات أيضاً عدد عمليات الإقلاع، على الرغم من أن سجلات الهبوط عادة ما توفّر بيانات موثوقة أكثر. ولهذا السبب، كثيراً ما تتوافر في المطارات الكبيرة البيانات المنشورة بشأن تحركات الطائرات السنوية.

٥-١٠ تتضمن دورة الهبوط والإقلاع هبوطاً واحداً وإقلاعاً واحداً، وهكذا ينبغي أن يكون عدد عمليات الهبوط وعدد عمليات الإقلاع متساويين. ويجوز معاملة العدد الإجمالي إما لعمليات الهبوط وإما لعمليات الإقلاع على أنه عدد عمليات الهبوط والإقلاع. وعادة ما سيكون أي اختلاف في عدد عمليات الهبوط وعدد عمليات الإقلاع دالاً على خطأ في السجلات، وإذا لم يوجد تفسير لهذا التفاوت، ينبغي من ثم استخدام العدد الأكبر.

٥-١١ إذا لم تتوافر أي بيانات، سيكون من الضروري إجراء مسح لعدد تحركات الطائرات وطرز الطائرات خلال فترة قصيرة أو متوسطة الأجل (من شهر إلى ستة أشهر مثلاً)، مع ملاحظة أنه عادة ما توجد اختلافات موسمية في عدد التحركات في معظم المطارات.

أسطول الطائرات المتقدّم

٥-١٢ كما هو الحال بالنسبة للنهج البسيط، فإن الخطوة الأولى للنهج المتقدم هي القياس الكمّي لعمليات الطائرات أو الهبوط والإقلاع بحسب طراز الطائرة وبصورة محددة للمطار. وعادة ما يمكن الحصول على هذه المعلومات مباشرة من سجلات المطار، وبذلك يمثّل أدق شكل لهذه المعلومات. غير أنه، بسبب أنه لا توجد أي قاعدة بيانات دقيقة تماماً والتغييرات بسبب المحركات التي تناسب الطائرات، يمكن أن تؤدي عمليات الاختلاط المؤقتة والاعتبارات الأخرى بمرور الوقت إلى عدم الدقة، ومن المهم جمع أكبر قدر من المعلومات بأقرب ما يمكن من مصدر العملية. وإذا تعذر الوصول إلى هذه المعلومات، يمكن من ثم الوصول إلى إحصاءات الحركة الوطنية إذا كانت متوافرة. وتشمل مصادر البيانات الإضافية مقدمي خدمة الملاحة الجوية مثل يوروكنترول وإدارة الطيران الاتحادية للولايات المتحدة والإنترنت والمصادر الأخرى المبيّنة أدناه.

٥-١٣ يحاول النهج المتقدم إذن مطابقة طرز الطائرات المختلفة العاملة في المطار قيد الدراسة مع المحركات المركّبة عليها. وعادة ما تكون لدى المطارات قوائم بتوليفات طرز/محركات الطائرات تم الحصول عليها من الناقلين الذين يخدمون المطار. غير أنه، إذا لم تتوافر هذه المعلومات، تستطيع الدول الوصول إلى العديد من قواعد البيانات المتوافرة للجمهور التي تتيح مطابقة طرز الطائرات مع محركات محددة. ويبيّن الإضافة (ج) لهذا المرفق هذه القواعد الهامة للمعلومات التي يمكن أن تساعد الممارسين في تحديد توليفات الطائرات/المحركات التي تتسم بها خلطة الأسطول في مطار معيّن.

٥-١٤ تشمل مصادر المعلومات الأخرى قاعدة بيانات الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران التي تتضمن بيانات تحدد طراز الطائرة والناقل ووتيرة الرحلات الجوية المنتظمة. وبالإضافة إلى ذلك، يتضمن الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران قوائم بالرحلات الجوية المنتظمة للركاب بحسب شركات الطيران المشاركة، يتم تحديثها شهرياً. ويوفّر الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران العناصر الرئيسية في تحديد خلطة الأسطول في مطار محدد مثل المطار وطراز الطائرة والناقل ووتيرة عمليات وصول الطائرات ومغادرتها. غير أن الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران لا يتضمن الرحلات الجوية غير المنتظمة وبالطائرات المستأجرة أو الرحلات الجوية للطيران العام بما في ذلك الطائرات النفاثة للأعمال. ويشمل الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران الرحلات الجوية لجميع شركات الطيران المنتظمة للولايات المتحدة وأغلبية شركات الطيران المنتظمة على النطاق العالمي. وعلى وجه التحديد، يقدم الإضافة (ج) بياناً للمجالات المفيدة التي تحتوي عليها قاعدة بيانات الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران. وأهم البارامترات الخاصة بالمطارات الواردة في الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران هي رقم الرحلة الجوية وطراز الطائرة والناقل والجدول الزمني، عند تحديد عدد العمليات في مطار محدد.

٥-١٥ تتضمن قاعدة بيانات BACK Aviation Solution's World Fleet Registration معلومات إضافية عن أساطيل شركات الطيران مثل الطائرة التجارية المستخدمة حالياً في جميع أنحاء العالم وبارامترات أخرى مختلفة للطائرات (أنظر الإضافة (ج) للاطلاع على قائمة بالمجالات المفيدة). ولأغراض حصر الانبعاثات، فإن أهم البارامترات من قاعدة بيانات BACK (أو قواعد بيانات مماثلة) هي معرّفات الطائرات ورقم الذيل ونموذج المحرك وعدد المحركات وطراز الطائرة.

٥-١٦ إن شركة Bucher & Company's JP Airline-Fleets International Database (JPFleets) هي قاعدة بيانات أخرى متوافرة للجمهور توفّر توليفات طرز/محركات الطائرات لشركات الطيران التجارية الكبرى على النطاق العالمي (انظر الإضافة (ج) للاطلاع على قائمة بمجالات البيانات المفيدة).

٥-١٧ تتوافر قاعدة بيانات Airline Service Quality Performance (ASQP) (الأداء الجيد لخدمة شركات الطيران) من مكتب إحصاءات النقل بإدارة النقل للولايات المتحدة. وتشتمل قاعدة البيانات هذه على بيانات أداء وطيران نحو ٢٠ من أكبر ناقلي الولايات المتحدة. وترد في الإضافة (ج) قائمة بالمجالات المفيدة في قاعدة بيانات ASQP. وينبغي أن يلاحظ الممارس أن قاعدة بيانات ASQP توفر تغطية جيدة للأساطيل العاملة في الولايات المتحدة والأسواق المرتبطة بها في الخارج.

٥-١٨ بناء على أسباب تجميع حصر للانبعاثات، يمكن اتباع أسلوب مختلف لإسناد المحركات إلى الطائرات. ويتمثل أحد النهوج في تحديد المحركات المعيّنة المستخدمة لعمليات الطائرات. ويحقَّق هذا عن طريق جمع المعلومات عن طرز الطائرات وأرقام الرحلات الجوية المنتظمة وبيانات الوصول/المغادرة بالنسبة لمطار محدد (باستخدام الدليل الدولي الرسمي لشركات الطيران مثلاً)، ثم العثور على طرز المحركات المحددة المسندة إلى الطائرات المعرّفة باستخدام قواعد البيانات المتوافرة المبيّنة أعلاه. وإذا لم تكن هذه الدرجة من الدقة ضرورية، يمكن من ثم اتباع نهج بديل لتقدير المحرك.

٥-١٩ يستند هذا البديل إلى رواج المحركات داخل الأسطول العالمي. وإذا كانت البيانات المتوافرة لا تسمح بتحديد توليفات طائرات/محركات محددة في مطار معين، فقد يتم تقدير هذه. وتتمثل طريقة للقيام بهذا في استنباط المعلومات عن توليفات الطائرات/المحركات من قاعدة للبيانات بشأن أسطول أكبر، مثل قاعدة للبيانات بشأن الأسطول العالمي. وعلى سبيل المثال، إذا كانت قاعدة البيانات المرجعية تبيّن أن X في المائة من الطائرات B777 في الأسطول العالمي لديها Y محرك، قد يُفترض من ثم لأغراض الحصر لمطار أن X في المائة من الطائرات B777 التي تقوم بعمليات إلى ذلك المطار لديها Y محرك. وينبغي أن تكون الدول على علم بأن طرازاً واحداً من الطائرات قد يُركَّب عليه أكثر من طراز أو طراز فرعي واحد من المحركات، الذي يمكن أن يؤدي بدوره إلى خصائص انبعاثات مختلفة في حصر عالمي لشركة طيران. ولهذه الحالات، يمكن استخدام قواعد بيانات مثل BACK وJPFleets وغيرها لإعداد توزيعات للمحركات بالاستناد إلى فئات شركات الطيران والطائرات المبلغ عنها.

٥-٢٠ ينبغي تذكّر أنه لا توجد قاعدة بيانات دقيقة تماماً، وأن التغييرات بسبب المحركات التي تناسب الطائرات والخلطات المؤقتة والإسناد الترافقي بين قواعد البيانات والاعتبارات الأخرى بمرور الوقت يمكن أن تحدث حتى مستويات أكبر من عدم الدقة. ولذلك فمن المهم جمع أكبر قدر من المعلومات قريباً من مصدر التشغيل بقدر الإمكان بغية التقليل من الريب إلى الحد الأدنى.

تحركات الطائرات المتقدمة

٥-٢١ مقتضيات تحركات الطائرات المطلوبة للنهج المتقدم تكاد تكون مطابقة للنهج البسيط. ومن الضروري معرفة عدد تحركات أو عمليات الطائرات بحسب طراز الطائرة والمحرك من أجل النهج المتقدم. وعند حساب الانبعاثات من عملية هبوط وإقلاع واحدة لكل توليفة طائرة/محرك باستخدام المدخلات والمعادلات أعلاه، تُحسب الانبعاثات الإجمالية عن طريق ضرب انبعاثات عملية هبوط وإقلاع واحدة لكل طائرة/محرك في العدد المناظر من التحركات وجمع النطاق الكامل من توليفات الطائرات/المحركات والتحركات للفترة المطلوبة.

أسطول الطائرات المتطوّر وتحركات الطائرات المتطوّرة

٥-٢٢ يُفترض في النهج المتطوّر أن واضع النماذج لديه المعلومات الفعلية والدقيقة عن طراز الطائرة وطرازها الفرعي وعدد المحركات وتسمية المحرك الصحيحة وتعيينه لكل تحرك واحد متاح. ويكون التطابق بين الطائرة والمحرك من خلال رقم تسجيل الطائرة فيما يتعلق بالإيكاو، أو ما شابه ذلك من المعرّفات الفريدة للمحرك.

٥-٢٣ يستمد مجموع التحركات من معلومات التحرك الفعلية لكل طائرة منفردة تخدم المطار المعيّن. ويتم تسجيل كل تحرك (هبوط أو إقلاع) عن طريق رقم تسجيل الطائرة بغية توفير معلومات تفصيلية عن المحرك. ولذلك فإن عدد التحركات لطراز محدد من الطائرات قد يشمل أعداداً مختلفة من هذا الطراز ولكن بأرقام تسجيل طائرات مختلفة.

٦- حسابات انبعاثات المحركات الرئيسية للطائرات

تدفّق الوقود وأدلة الانبعاثات

٦-١ تقوم الايكاو بترخيص انبعاثات محركات الطائرات التي تزيد قدرتها الاسمية على ٢٦,٧ كيلونيوتن بالنسبة لانبعاثات أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون والرقم الدخاني الأقصى، بالاستناد إلى دورة الهبوط والإقلاع الموحّدة حسب ما هي مبيّنة في المجلد الثاني من الملحق السادس عشر، ونُشِرت أصلاً في الوثيقة Doc 9646 (1995) وتعديلات بالموقع على الانترنت. وتوفّر الايكاو بيانات ترخيص الانبعاثات على الشبكة العالمية بالموقع http://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank وتتم تحديثات لبنك بيانات انبعاثات المحركات مع ترخيص محركات جديدة. ويمكن الاطلاع في الإضافة (أ) على مثال من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات. ويرد في الإضافة (د) مزيد من المعلومات التي تتناول انبعاثات الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة المتأتية عن المحركات.

٦-٢ عند استخدام بيانات الايكاو بشأن المحركات لحساب انبعاثات الطائرات، من المهم اختيار القيمة المتوسطة المقيسة للملوّث وليس المستوى المميّز للملوّث، المُبلَغ عنه أيضاً في بنك بيانات الايكاو. ويتم الحصول على المستوى المميِّز لملوّث غازي أو دخان لأغراض الترخيص ويتضمن معامِلات إحصائية مناظرة لعدد المحركات التي يتم اختبارها.

٦-٣ بالنسبة للأغلبية الكبرى من محركات الطائرات التجارية المشغَّلة في المطارات الكبرى، يتم الإبلاغ في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات عن تدفق الوقود ومؤشر الانبعاثات، وذلك في نقاط ضبط الدفع الأربع للترخيص. ويتم الإبلاغ عن أدلة انبعاثات محرك الطائرة في صيغة جرامات من الملوِّث لكل كيلوجرام من الوقود المستهلك. ويتم الإبلاغ عن معدلات تدفق الوقود لكل طريقة في صيغة كيلوجرامات في الثانية. وتوصي الايكاو باستخدام قيم مؤشر الانبعاثات وتدفق الوقود لحساب الانبعاثات من محركات الطائرة الرئيسية.

٦-٤ توجد قواعد بيانات أخرى متوافرة تتناول معلومات مؤشر الانبعاثات وتدفق الوقود لمحركات الطائرات غير المرخّصة أو المنظّمة من جانب الايكاو. وفيما يلي اثنتان من قواعد البيانات الأولية غير المنتمية إلى الايكاو.

٦-٥ وكالة بحوث الدفاع السويدية هي حافظة قاعدة بيانات لأدلة انبعاثات المحركات التوربينية المروحية التي يقدمها الصانعون لأغراض إعداد قوائم حصر الانبعاثات. وعلى الرغم من أن قاعدة البيانات متاحة للجمهور من خلال وكالة بحوث الدفاع السويدية فقط، إلا أن المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء يرصد عن كثب من يطلبون استخدام قاعدة البيانات لضمان عدم إساءة استخدام البيانات. ولم تقم الايكاو بإقرار قاعدة بيانات وكالة بحوث الدفاع السويدية لأن البيانات غير مرخّصة وقد تتضمن أخطاء ناجمة أساساً عن منهجيات اختبار غير خاضعة للتنظيم. وهناك أيضاً مسألة هامة هي ضبط الدوران البطيء الملائم للمحركات التوربينية المروحية. ولذلك، في حين أن هذه البيانات هي بيانات انبعاثات محركات طائرات غير مرخَّصة من الايكاو، فإن هذه المعلومات مدرجة في هذه المواد الإرشادية اعترافا بأن قاعدة بيانات المحركات التوربينية المروحية لوكالة بحوث الدفاع السويدية قد تساعد المطارات في إجراء عمليات حصر الانبعاثات. وحالياً، لا تتوافر وثائق بشأن الكيفية التي تم بها الحصول على أدلة الانبعاثات وطرز المحركات التوربينية المروحية. ويمكن طلب الحصول على معلومات عن المحركات التوربينية المروحية والوقت المقضي في الطريقة المقترح وكيفية الحصول على البيانات من وكالة بحوث الدفاع السويدية بالموقع https://www.foi.se/en/foi/research/aeronautics-and-space-issues/environmental-impact-of-aircraft.html.

٦-٦ قام مكتب سويسرا الاتحادي للطيران المدني بوضع منهجية ونظام قياس للحصول على بيانات الانبعاثات من الطائرات ذات المحركات المكبسية وطائرات الهليكوبتر. وبالنسبة لهذه الأنواع من المحركات، لا يوجد اقتضاء لترخيص الانبعاثات، ومن ثم فإن بيانات المكتب الاتحادي للطيران المدني هي أحد مصادر البيانات القليلة المتوافرة لإجراء عمليات حصر الانبعاثات فيما يتعلق بالطائرات المزوّدة بهذه المحركات. غير أن بيانات المكتب الاتحادي للطيران المدني لم تؤكدها الايكاو ولا تؤيدها الايكاو. ولذلك، في حين أن هذه البيانات ليست بيانات انبعاثات محركات طائرات مرخّصة من الايكاو، فإن هذه المعلومات مدرجة في هذه المواد الإرشادية اعترافا بأن بيانات المكتب الاتحادي للطيران المدني قد تساعد المطارات في إجراء عمليات حصر الانبعاثات لبعض الطائرات التي قد لا توجد بخلاف ذلك من أجلها أي مصادر للبيانات. ويحال القارئ إلى موقع المكتب الاتحادي للطيران المدني على الانترنت للحصول على وثائق بشأن نظام قياس الانبعاثات، ومنهجية القياس المتسقة، وتوصيات لاستخدام بياناته لإجراء عمليات حصر بسيطة للانبعاثات باستخدام الوقت المقضي في الطريقة المقترح. وجميع المواد متاحة بصورة علنية لتنزيلها بالموقع: www.bazl.admin.ch → Portal for Specialists → Regulations and Guidelines → Environment → Pollutant Emissions →Aircraft Engine Emissions

حسابات الانبعاثات — النهج البسيط (الخيار (أ))

أدلة الانبعاثات

٦-٧ في النهج البسيط (الخيار (أ))، يُستعاض عن مؤشر الانبعاثات بعامل للانبعاث (EF)،[٥] ويوفّر الجدول ب-١ في الإضافة (ب) عوامل الانبعاث لخمسة أنواع من الملوِّثات لكل من الطائرات الواردة في القائمة.

٦-٨ يوفَّر عامل الانبعاثات في صيغة كيلوجرام من كل من أنواع الانبعاثات لكل دورة هبوط وإقلاع لكل طائرة (وعدد الجسيمات). وقد حُسبت هذه على أساس طراز المحرك الممثّل لكل طراز طائرة عام وباستخدام الوقت المقضي في الطريقة للإيكاو ودرجات ضبط الدفع وافتراضات أساسية أخرى. ويرد بيان الافتراضات الأخرى في الملاحظات على الجدول ب-١ في الإضافة (ب).

حساب الانبعاثات

٦-٩ بالنسبة لأكاسيد النيتروجين والهيدروكربون وأول أكسيد الكربون وكتلة وعدد **nv**PM وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون يوجد أسلوب قياسي لحساب انبعاثات محركات الطائرات باتباع النهج البسيط (الخيار (أ)). وبالنسبة لكل طراز طائرة، اضرب عدد دورات الهبوط والإقلاع لتلك الطائرة (خلال فترة التقدير) في عامل الانبعاثات في الجدول ب-١ لكل من أنواع الملوِّثات ثم اجمع القيم بالنسبة للطائرة كلها للحصول على مقدار الانبعاثات الإجمالي (بالكيلوجرام) بالنسبة لكل ملوِّث. أنظر المعادلة العامة التالية:

انبعاث النوع X (بالكيلوجرام) = Σ الطائرة بأكملها (عدد دورات الهبوط والإقلاع للطائرة Y) × (عامل الانبعاثات بالنسبة للنوع X) المعادلة ٣-أ١-١

٦-١٠ من الملاحظ أن هذه المعادلة لا تأخذ في الحسبان طرز المحركات المحددة أو الطرائق التشغيلية أو الوقت المقضي في الطريقة لأنها تفترض أن الظروف قيد الدراسة هي نفس الظروف أو هي ظروف مماثلة للبيانات البديلة المستخدمة.

٦-١١ يتم، إذا كان ذلك مطلوباً للحصر، استخدام عملية مماثلة لاستهلاك الوقود خلال الفترة قيد النظر باستخدام بيانات استهلاك الوقود الواردة في الجدول ب-١:

استهلاك الوقود (بالكيلوجرام) = Σ الطائرة بأكملها (عدد دورات الهبوط والإقلاع للطائرة Y) × (استهلاك الوقود) المعادلة ٣-أ١-٢

حساب الانبعاثات — النهج البسيط (الخيار (ب))

الوقت المقضي في الطريقة للطائرة

٦-١٢ حسب ما سبقت مناقشته، فإن الوقت المقضي في الطريقة كمرجع مستخدم كجزء من عملية الايكاو لترخيص انبعاثات الطائرات (والذي يتضمنه بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات) ملائم فقط بالنسبة لعملية ترخيص المحركات ولا يمثّل الوقت الفعلي الذي تقضيه الطائرة في الطريقة في عالم العمليات الحقيقي (أنظر من ٢-١ إلى ٢-٨). ومع ذلك، يمكن أن يوفّر وقت الايكاو البديل المقضي في الطريقة تقديراً معتدلاً لانبعاثات الطائرات في أي مطار عندما لا تتوافر بيانات الوقت المقضي في الطريقة للدوران البطيء خلال السير/على الأرض في مطار محدد أو أساليب منقحة لتقدير أوقات الإقلاع والصعود والاقتراب. وقد حددت تحليلات الحساسية التي أجرتها اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران أن إجراء حصر لانبعاثات الطائرات باستخدام الوقت المقضي في الطريقة لترخيص الايكاو (فضلاً عن تدفق الوقود ومؤشر الانبعاثات) عادة ما يسفر عن مبالغة في تقدير انبعاثات الطائرات الإجمالية عبر دورة الهبوط والإقلاع بأكملها.

---

٥ EI = مؤشـــر الانبعاثات، المعبَّر عنه كجرام من الملوِّث لكل كيلوجرام من الوقود، EF = عامل الانبعاثات، المعبَّر عنه ككتلة الملوِّث لكل وحدة محددة (طائرة مثلاً).

٦-١٣ في حين أن وقت الايكاو البديل المقضي في الطريقة يمكن تطبيقه بصفة أولية على المحركات الخاضعة للتنظيم، قد يتوافر وقت بديل آخر مقضي في الطريقة بالنسبة لطرز المحركات الأخرى (مثل المحركات التوربينية بمراوح داخلية غير الخاضعة للتنظيم أو المحركات التوربينية المروحية أو المحركات المكبسية أو طائرات الهليكوبتر). وتشمل مصادر مثل هذه المعلومات الطيران الوطني أو السلطات البيئية (مثلاً اقترحت الوكالة السويدية FOI الوقت المقضي في الطريقة للطائرات ذات المحركات التوربينية المروحية).

منهجية حساب الانبعاثات لأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون وكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة وعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة

٦-١٤ سيتيح تحديد طراز الطائرة تقرير عدد المحركات ونماذج المحركات الملائمة. وسيقرر نموذج المحرك، بدوره، مؤشر الانبعاثات المناسب لحساب انبعاثات الطائرة.

٦-١٥ يجوز استخدام الصيغة التالية لتحديد انبعاثات أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM أو عدد nvPM بالنسبة لتوليفة فريدة من طائرة/محرك. ويتكرر هذا الأسلوب بالنسبة لكل طراز طائرة/محرك يمثّل كل وقت مقضي في الطريقة لوضع حصر كامل لانبعاثات الطائرة.

$$Ei_j = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (Ei_{ijk}) * (Ne_j)$$ المعادلة ٣-أ١-٣

حيث:

Ei_j = الانبعاثات الإجمالية للملوّث i مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون، أو كتلة nvPM (بالجرامات) أو عدد nvPM (بعدد الجسيمات)، التي ينتجها طراز الطائرة j لدورة هبوط وإقلاع واحدة.

Ei_{ijk} = دليل انبعاث الملوّث i مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM، (بالجرامات لكل ملوّث لكل كيلوجرام من الوقود (جم/كجم من الوقود) أو عدد nvPM (بعدد الجسيمات لكل كيلو من الوقود (عدد/كجم من الوقود)) بالطريقة k (مثل الإقلاع والصعود والدوران البطيء والاقتراب) لكل محرك مستخدم على طراز الطائرة j.

FF_{jk} = تدفق الوقود للطريقة k (مثل الإقلاع والصعود والدوران البطيء والاقتراب)، بالكيلوجرامات في الثانية (كجم/ث)، لكل محرك مستخدم على طراز الطائرة j.

$TIMjk$ = الوقت المقضي في الطريقة للطريقة k (مثل الدوران البطيء والاقتراب والصعود والإقلاع)، بالدقائق، لطراز الطائرة j.

Ne_j = عدد المحركات المستخدمة على طراز الطائرة j.

٦-١٦ إذا كان الوقت المقضي في الطريقة المقيس الفعلي لواحدة أو أكثر من طرائق التشغيل موجوداً ومستخدماً، يتعين من ثم حساب مراحل الطيران المختلفة بصورة منفصلة ويتعين جمع الانبعاثات الإجمالية لكل نوع لإعطاء الانبعاثات الإجمالية لكل طراز طائرة/محرك.

٦-١٧ ليس لدى الايكاو قواعد ترخيص انبعاثات لأكاسيد الكبريت. غير أن انبعاثات أكاسيد الكبريت تتوقف على كمية الكبريت في الوقود. وقد أجرت وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة مسحاً لمحتوى وقود الطائرات النفاثة للطيران التجاري من الكبريت جاءت نتيجته أن المتوسط للولايات المتحدة هو جرام واحد لكل ١ ٠٠٠ جرام من الوقود المستهلك (EI SO_X = 1 G/KG OF FUEL). ولا ينبغي الاعتماد على هذا المتوسط حيث تكون البيانات التي تم التحقق منها مطلوبة، ولكن يمكن استخدامه لإجراء حصر لانبعاثات أكاسيد الكبريت باستخدام المعادلة التالية:

$$E_j = \sum (TIM_k * 60) * (Er_{jk}) * (Ne_j)$$ المعادلة ٣-أ١-٤

حيث:

E_j = انبعاثات أكاسيد الكبريت الإجمالية، بالجرامات، التي تنتجها طائرة من الطراز j لدورة هبوط وإقلاع واحدة.

Ne_j = عدد المحركات المستخدمة على طراز الطائرة j.

Er_{jk} = $.1 * (FF_{jk})$

حيث:

Er_{jk} = معدل انبعاث أكاسيد الكبريت الإجمالية بوحدات جرامات أكاسيد الكبريت المنبعثة لكل ثانية لطريقة تشغيلية من الفئة k للطائرة من الطراز j.

FF_{jk} = تدفق الوقود المبلغ عنه بحسب الطريقة بالكيلوجرامات لكل ثانية (كجم/ث) لطريقة تشغيلية من الفئة k لكل محرك مُستَخدم على الطائرة من الطراز j.

٦-١٨ من المتوقع أن تتحسن عملية توفير للعموم أدلة الانبعاثات المقيسة بصيغة موحدة لكتلة nvPMmass وعدد nvPMnumber بسبب اعتماد الايكاو لأول قاعدة لانبعاثات الجسيمات الدقيقة الناتجة عن محركات الطائرات، والتي تكون واجبة التطبيق اعتباراً من ٢٠٢٠/١/١ على جميع المحركات التوربينية المصنعة التي تتجاوز قوة الدفع ٢٦,٧ كيلو نيوتن. وإلى أن تتاح للعموم أدلة الانبعاثات المعتمدة لكتلة **nv**PM وعدد **nv**PM، سيتعين تقدير تلك الأدلة لغرض عمليات جرد الانبعاثات في المطارات. وبمجرد أن تكون القيم المعتمدة الخاصة بالجسيمات متاحة للعموم، يجب استخدامها بدلاً من القيم المقدرة. ويتم تنظيم الجسيمات الدقية المتطايرة بشكل غير مباشر من خلال الحدود المتعلقة بهيدروكاربون وأكاسيد النيتروجين ومواصفات الوقود. ولا يمكن توقع بيانات قياس معتمدة للجسيمات الدقيقة المتطايرة، وستظل الحاجة قائمة إلى التقديرات على المدى الطويل. وسيتم تحسين تقديرات انبعاثات العادم $PM_{2.5}$ وPM_{10} بمجرد توفر بيانات كتلة **nv**PM المعتمدة، ولكن من الضروري أن يبقى مكوّن PM المتطاير مقدرا بالكامل.

٦-١٩ في سياق تطوير تنظيم جديد يرعى الجسيمات الدقيقة nvPM، تم تحديث أسلوب مؤقت وهو التقريب من الدرجة الأولى FOA، بالصيغة ٣,٠ المقدمة في الطبعة السابقة للوثيقة. ويتضمن التحديث علاقة أمتن بين تركيز الرقم الدخاني SN وكتلة **nv**PM، وتحسين بعض الثوابت، ويشتمل للمرة الأولى، على تقدير تقريبي لعدد **nv**PM. وإن وسيلة التقدير للجسيمات المتطايرة من عضويات الوقود ومحتواه من الكبريت المقترحة في وسيلة FOA3.0 لم تتغير. وتتاح الوسيلة المحدثة الكاملة في الإضافة (د) بعد أن أعيدت تسميتها FOA4.0. وعلى غرار الصيغ الأخرى، من المتوقع أن تستخدم الصيغةFOA4.0 فقط لأغراض حصر الانبعاثات داخل المنطقة المجاورة للمطارات ولا ينبغي الاعتماد على منهجية التقريب من الدرجة الأولى عندما تكون البيانات الدقيقة والتي تم إقرارها مطلوبة. ولجنة حماية البيئة ملتزمة بمواصلة تحديث FOA4.0 مع توافر البيانات والتحسينات العلمية.

حساب الانبعاثات — النهج المتقدم (الخياران (أ) و(ب))

٦-٢٠ تستفيد أساليب حساب الانبعاثات المتقدمة من نماذج الأداء التي تراعي أو تمثّل معلومات الأحوال الجوية التشغيلية والمعلومات المتعلقة بطائرات محددة. ومن المطلوب معلومات إضافية، بصفتها هذه، يستطيع واضع النموذج الحصول عليها بصورة أسهل من مصادر عامة. ويمكن أن تشمل مثل هذه المعلومات ما يلي: معلومات الطائرات (الكتلة الإقلاعية، المحرك الفعلي) ومعلومات المطار (منسوب ميدان الطيران، طول المدرج المُستخدم) ومعلومات الأحوال الجوية المحيطة (سرعة الريح واتجاهها، الاضطراب، الضغط، درجة الحرارة، الرطوبة) والمعلومات التشغيلية (المقصد، الموقف، المدرج، الطريق الجوي للمغادرة، الطريق الجوي للاقتراب وميل الانحدار، استخدام وحدة الطاقة الإضافية). وتتوقف المعلومات المطلوبة فعلياً على النموذج المستخدم وقد تتفاوت. ارجع أيضاً إلى الجدول ٣-أ١-٢ للحصول على إرشادات إضافية بشأن البارامترات التي تُستخدم.

مستويات الدفع

٦-٢١ في حين توحي دورة الهبوط والإقلاع للترخيص بوجود درجات ضبط للدفع لكل نموذج، قد تكون لأي دورة هبوط وإقلاع تشغيلية طرائق مختلفة لها مزيد من درجات ضبط القدرة المنفردة (انظر القسم ٣). وعلى وجه التحديد، كثيراً ما يكون دفع الإقلاع أقل من ١٠٠ في المائة المرخّص به لأسباب تتعلق بالأداء وفعالية الكلفة. ويتم تشغيل عدد متزايد من الطائرات باستخدام معدلات دفع مرنة، أحياناً بالاقتران مع خيارات دفع مخفّضة. ويمكن أن ينطبق هذا على مرحلة الإقلاع من رحلة جوية وكذلك على مراحل أخرى من الرحلة الجوية في دورة الهبوط والإقلاع.

٦-٢٢ كخيار ألف، قد يتوافر من أجل مرحلة الإقلاع بصفة أولية متوسط للمطار و/أو مستوى دفع مخفّض لمجموعة طائرات محددة، لكنه قد يتوافر أيضاً لطرائق أخرى. ويمكن أن تكون مثل هذه المعلومات منبثقة عن بيانات تجريبية، مثلاً، من مشغّل طائرات، وأن يتم تطبيقها على جميع العمليات.

٦-٢٣ في الخيار (ب)، ينبغي استخدام نموذج أداء طائرات مكرّس يعطي مستوى دفع تشغيلي باستخدام بارامترات إضافية متوافرة بصفة عامة وينفرد بها النموذج. ويمكن وضع نموذج مستوى الدفع من أجل الإقلاع فقط أو لجميع طرائق دورة الهبوط والإقلاع.

الوقت المقضي في الطريقة

٦-٢٤ كخيار ألف، تشجّع المطارات على أخذ قياسات لأوقات السير المعتادة التي ينفرد بها هيكل المطار للسير لكل من السير للدخول من المدرج إلى المحطة، وبالعكس لأوقات السير إلى الخارج، بما في ذلك أوقات الانتظار بالصف على مدارج المغادرة. ويمكن لاستخدام قيم أوقات السير المقيسة للمطار موضوع الدراسة أن يعبّر بصورة أفضل عن الانبعاثات بالنسبة لطريقة السير/الدوران البطيء لدورة الهبوط والإقلاع. ويمكن الحصول على مثل هذه البيانات، مثلاً، من أوقات الملامسة والتوقّف والرحيل والإقلاع إما بالنسبة لجميع التوليفات الممكنة على الموقف/المدرج أو كوضع بديل في أحد المطارات.

٦-٢٥ كخيار باء، يمكن أيضاً وضع نموذج للوقت المقضي في الطريقة بالنسبة لغير طريقة السير فحسب. ومن الأرجح أن يشمل هذا الخيار نهجاً لوضع نموذج أداء طائرة، مما يعطي مجموعة طائرات أو حتى طراز طائرة منفرد الوقت المقضي في الطريقة بالنسبة لتلك الطرائق موضوع النظر في النهج (مثلاً أكثر من مجرّد طرائق ترخيص الايكاو الأربع).

تدفق الوقود

٦-٢٦ بالنسبة للخيار (أ)، تم استحداث علاقة تستخدم تدفق الوقود للترخيص وبيانات الدفع من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات لتحديد تدفق الوقود على أي مستوى دفع مطلوب بين ٦٠٪ و١٠٠٪.

ملاحظة — مستويات الدفع هي نسبة مئوية من الدفع الناتج الإسمي وتمثّل الدفع الذي يختاره الطيار. وهي لا تمثّل الدفع الفعلي الذي يولّده المحرك (الدفع الصافي المصحَّح).

٦-٢٧ تتيح هذه المنهجية الحساب الدقيق لتدفق الوقود على مستويات الدفع عند الإقلاع المخفّض الذي يمكن في بعض الحالات أن يكون منخفضاً إلى ٦٠٪ من الدفع الإسمي. ومن تدفق الوقود هذا، يمكن حساب أدلة الانبعاثات المناظرة باستخدام المنهجية التي تناسب منحنى أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود. وقد وضعت منهجية رباعية مزدوجة، ويرد وصفها أدناه.

٦-٢٨ يتضمن الأسلوب الرباعي المزدوج حساب تدفق الوقود مقابل الدفع، لعمليات الدفع فوق ٦٠٪ من الدفع الإسمي الأقصى. وتتوافر بيانات تدفق الوقود والدفع المطلوبة لتحديد المنحنيين في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بالنسبة للمحركات المرخّصة. والمنهجية هي كما يلي:

أ) من ٦٠٪ إلى ٨٥٪ من الدفع: المحدد عن طريق معادلة رباعية على أساس ٧٪ و٣٠٪ و٨٥٪ من الدفع ونقاط تدفق الوقود المرتبطة به.

ب) من ٨٥٪ إلى ١٠٠٪ من الدفع: المحدد عن طريق معادلة رباعية على أساس ٣٠٪ و٨٥٪ و١٠٠٪ من الدفع ونقاط تدفق الوقود المرتبطة به.

هاتان المعادلتان الرباعيتان محددتان بصورة فريدة عن طريق نقاطهما الثلاث وتلتقي عند ٨٥٪ من الدفع. وقد تكون انحدارات المنحنيين عند ٨٥٪ من الدفع مختلفة ("الانحناء" الموضَّح بالرسم البياني في الشكل ٣-أ١-٢).

٦-٢٩ توجد معادلة رباعية تناسب النقاط الثلاث بشأن تدفق الوقود غير المحدد الأبعاد مقابل منحنى الدفع تتضمن البارامترات التالية:

X = (thrust)/(maximum rated thrust), quadratic defined by values X1, X2, X3;

Y = (fuel flow)/(fuel flow @ maximum rated thrust), values Y1, Y2, Y3.

giving:

$$Y = AX^2 + BX + C$$

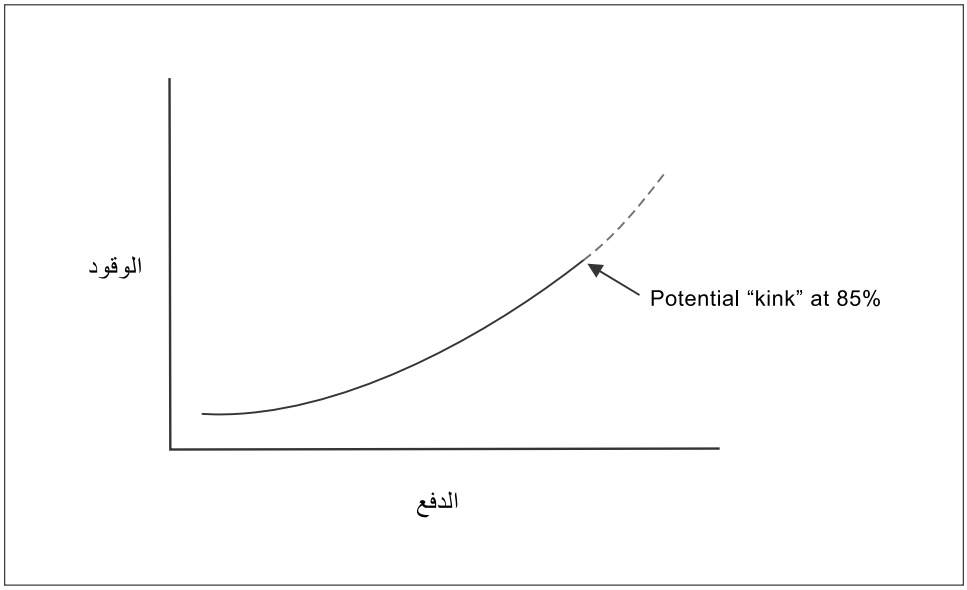
with three known points:

$$Y1 = AX1^2 + BX1 + C$$
$$Y2 = AX2^2 + BX2 + C$$
$$Y3 = AX3^2 + BX3 + C$$

allowing solution for A, B and C as:

$$A = (Y3–Y1)/((X3–X1) * (X1-X2)) – (Y3–Y2)/((X3–X2) * (X1–X2))$$
$$B = (Y3–Y1)/(X3–X1) – A * (X3+X1)$$
$$C = Y3 – A * X3\ 2 – B * X3$$

تتفاوت A وB وC حسب المعرّفات الفريدة للمحركات المختلفة.



الشكل ٣-أ١-٢ — توضيح بالرسم البياني لمناسبة المنحنى الرباعي المزدوج

بالنسبة لعمليات دفع مختارة بين ٨٥ في المائة و١٠٠ في المائة من الدفع الإسمي

٦-٣٠ تُستخدم النقاط المعروفة لبنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات للمعرّف الفريد للمحرك بنسبة ٣٠٪ و٨٥٪ و١٠٠٪ لاستنتاج A وB وC على النحو الوارد أعلاه. ثم تُستخدم هذه في المعادلة الرباعية العامة:

$$Y = AX^2 + BX + C$$

حيث أن X هي (الدفع المختار)/(الدفع الإسمي الأقصى)

لإعطاء Y (= (تدفق الوقود المطلوب)/(تدفق الوقود بالدفع الإسمي الأقصى)) بالدفع المختار.

٦-٣١ يتم الحصول على تدفق الوقود بالدفع المختار عن طريق ضرب Y في تدفق الوقود حسب بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بالدفع الإسمي الأقصى. ويتم تطبيق المنحنى الرباعي الأعلى بين ٨٥٪ و١٠٠٪ من الدفع الإسمي فقط.

بالنسبة لعمليات دفع مختارة بين ٦٠٪ و٨٥٪ من الدفع الإسمي

٦-٣٢ تُستَخدم نقاط بنك البيانات المعروفة للمعرِّف الفريد للمحرك بنسبة ٧٪ و٣٠٪ و٨٥٪ لاستنتاج A وB وC على النحو الوارد أعلاه. ثم تُستَخدم هذه في المعادلة الرباعية العامة:

$$Y = AX^2 + BX + C$$

حيث أن X هي (الدفع المختار)/(الدفع الإسمي الأقصى)

لإعطاء Y (= (تدفق الوقود)/(تدفق الوقود بالدفع الإسمي الأقصى)) بالدفع المختار.

٦-٣٣ يتم الحصول على تدفق الوقود بالدفع المختار عن طريق ضرب Y في تدفق الوقود حسب بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بالدفع الإسمي الأقصى. ويتم تطبيق المنحنى الرباعي الأسفل بين ٦٠٪ و٨٥٪ من الدفع الإسمي فقط.

مثال حساب المعرِّف الفريد UID 8RR044, Rolls-Royce Trent 553-61

١) تحديد المنحنى الرباعي بين ٨٥٪ و١٠٠٪ من الدفع الإسمي

X1 = 0.30
X2 = 0.85
X3 = 1.00

With ICAO EEDB fuel flow data:

Y1 = 0.2844
Y2 = 0.8199
Y3 = 1.0000

→ A = 0.3242
→ B = 0.6009
→ C = 0.07491

→ Y = 0.3242 X2 + 0.6009 X + 0.0749 (١)

٢) تحديد المنحنى الرباعي بين ٦٠٪ و٨٥٪ من الدفع

X1 = 0.07
X2 = 0.30
X3 = 0.85

With ICAO EEDB fuel flow data:

Y1 = 0.1090
Y2 = 0.2844
Y3 = 0.8199

→ A = 0.2709
→ B = 0.6622
→ C = 0.0613

→ Y = 0.2709 X2 + 0.6622 X + 0.0613 (٢)

٣) نتائج للدفع المختار (أمثلة)

70 per cent thrust (X = 0.7): equation (2): Y = 0.6576 → multiply by ICAO EEDB maximum rated thrust fuel flow → fuel flow = 1.388 kg/s

90 per cent thrust (X = 0.9): equation (1): Y = 0.8783 → multiply by ICAO EEDB maximum rated thrust fuel flow → fuel flow = 1.853 kg/s.

٦-٣٤ بالنسبة للخيار باء، سيُستخدم نموذج أداء للحصول على/لحساب بيانات تدفق الوقود التشغيلية باستخدام مختلف البيانات الإضافية (مثل الوزن الفعلي عند الإقلاع أو طول المرحلة أو المعلومات المتعلقة بحساب تدفق الوقود) إلى جانب الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات. وكأمثلة قد تُستخدم نماذج مثل قاعدة بيانات الطائرة أو PIANO أو الأسلوب المتقدم لحساب انبعاثات الطائرات.

أدلة الانبعاث

٦-٣٥ ***الخيار (أ)*** — ستُحسب أدلة الانبعاث للخيار ألف من البيانات في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات باستخدام أسلوب "الاستكمال الخطي بمقياس لوغاريثم–لوغاريثم" كما هو مُستخدم في أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود، باستخدام بيانات تدفق الوقود المحسوبة عن طريق المنهجية الواردة في ٦-٢٩.

٦-٣٦ ***الخيار (ب)*** — أدلة الانبعاث "التشغيلية" مستمدة من البيانات في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات باستخدام أسلوب "الاستكمال الخطي بمقياس لوغاريثم–لوغاريثم" كما هو مستخدم في أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود، باستخدام بيانات تدفق الوقود التشغيلية من الأسلوب المبيّن في القسم ٦-٣٤.

تطبيق البارامترات الإضافية التي قد تؤثر على الانبعاثات، إذا كان ملائماً

تحذيرات هامة لواضعي النماذج الذين يستخدمون أساليب متقدمة

٦-٣٧ على خلاف النهج البسيط، فإن نهوجاً مختلفة تحت عنوان الأساليب المتقدمة قد تشمل بالفعل بعض جوانب التصويبات لبارامترات إضافية مثل الأحوال الجوية المحيطة. ومن المهم تفادي الحساب المزدوج في هذه الحالات. وبالتالي، قد يختلف تطبيق التصويبات بين الأساليب المختلفة. ومن المهم أيضاً إدراك أن الأحوال الجوية المحيطة البعيدة بقدر كاف عن القاعدة قد تتسبّب في بلوغ الطائرة أو المحرك الحدود التشغيلية. وعلى سبيل المثال، لن تكون محركات عديدة قادرة على توفير الدفع الإسمي الثابت الكامل بما يتجاوز حدّاً ما لدرجة الحرارة (عادة الغلاف الجوي المعياري الدولي + ١٥ درجة مئوية، لكن هذا الحد متفاوت). ويجب على واضع النماذج الانتباه إلى عدم استنباط منهجية بما يتجاوز الأحوال التي تكون صحيحة بالنسبة لها.

التطبيق على الخيار (ب) للنهج المتقدم

٦-٣٨ إذا استُخدم نموذج أداء طائرة لحساب أحوال تشغيل الطائرة والمحرك (الخيار (ب) المتقدم)، ينبغي من ثم أن يشمل بالفعل آثار السرعة إلى الأمام على تدفق الوقود. وقد يشمل أيضاً، على نحو يتوقف على النموذج، آثار الأحوال الجوية المحيطة. ويجب أن يكون واضع النماذج مدركاً لكيفية عمل النموذج. وإذا كان من الضروري المزيد من تصويب نموذج أداء الطائرة و/أو تدفق الوقود لبيان هذه الآثار بدقة، ينبغي أن يقوم واضع النماذج بذلك في هذه المرحلة.

٦-٣٩ بعد التحديد الصحيح لأداء الطائرة وتدفق الوقود بموجب الخيار المتقدم باء، ينبغي من ثم حساب أدلة الانبعاث باستخدام أسلوب لتدفق الوقود. وأحد الأساليب الموثقة[٦] هو أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود (BFFM2). ويتوقف ذلك على احتياجات واضع النماذج والبيانات المتوافرة، وقد تُستخدم أساليب أخرى، مع أنه يوصى بأسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود كخيار بديل.

٦ SAE AIR5715.

٦-٤٠ حسبما ورد في SAE AIR5715، فإن أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود يضع في الاعتبار آثار الأحوال الجوية المحيطة والسرعة إلى الأمام. ومن المهم الإقرار بأنه إذا كان يتعين النظر في آثار الأحوال الجوية المحيطة والسرعة إلى الأمام، لا يكفي أن يُستخدم فقط الحساب الأولي لأدلة الانبعاث من الأساليب المناسبة للمنحنى المحددة من أجل أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود. غير أن أسلوب بوينغ الثاني الكامل لانسياب الوقود يشمل تصويبات لكل من هذين النوعين من الآثار، وبذلك لن يكون من المطلوب إجراء مزيد من التصويبات لأدلة الانبعاث إذا تم استخدامه.

التطبيق على الخيار (أ) للنهج المتقدم

٦-٤١ في حين أن الأساليب التي تندرج تحت الخيار المتقدم ألف تتسم بتطوّر ودقة أقل، فقد تكون أيضاً أكثر تعقيداً لضبطها مع الأحوال الجوية المحيطة. وأولاً، قد يتعين ضبط أداء الطائرة (الدفع، الوقت المقضي في الطريقة، الخ.) لوضع الأحوال الجوية المحيطة في الاعتبار. ثم، نظراً لأن تدفق الوقود سيكون قد تم حسابه لمستوى الدفع ذي الصلة في الأحوال السكونية للغلاف الجوي المعياري الدولي (لأن تدفق الوقود لا يستند إلى نموذج لأداء طائرة في هذا الخيار)، سيتعين إجراء تصويبات للأحوال الجوية المحيطة وللسرعة إلى الأمام على السواء. وستكون النتيجة هي تصويب تدفق الوقود لكلا المجموعتين من الأحوال، ولكن بدون دقة نموذج للخيار باء (أو تقسيمه الزماني والمكاني).

٦-٤٢ يمكن من ثم حساب أدلة الانبعاث وتصويبها بالنسبة لآثار الأحوال الجوية المحيطة والسرعة إلى الأمام باتباع نفس النهج كما هو بالنسبة للخيار المتقدم باء. غير أنه، لأن تدفق الوقود وظروف الرحلة الجوية غير معروفة بنفس درجة شدة وضوح الخيار (ب)، فإن النتائج التي يتم الحصول عليها عند تطبيق أسلوب مثل أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود قد لا تكون دقيقة أو حتى محددة تماماً. وأسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود معرّف فقط في ظروف طيران محددة تماماً[٧] ولا يمكن تطبيقه مباشرة على "طريقة" بأكملها مثل الإقلاع أو الصعود. وإما يمكن افتراض ظرف طيران محدد تماماً يمثل الطائرة بالنسبة للوقت المقضي في الطريقة بأكمله، وإما يتعين استخدام أسلوب مختلف لتحديد أدلة الانبعاث. وقد يكون هذا الأسلوب المختلف تعديلاً لأسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود، أو قد يكون لا صلة له به. وبالتالي فإن تطبيق تصويبات للسرعة إلى الأمام والأحوال الجوية المحيطة على حساب خيار متقدم ألف سيتوقف على تفاصيل النموذج ومتطلبات واضع النماذج.

آثار الارتفاع

٦-٤٣ آثار الارتفاع على محرك أي طائرة يحكمها الضغط المحلي ودرجة الحرارة والرطوبة المحليتان. ولذلك، ستُعالَج آثار الارتفاع على انبعاثات المحرك إذا نفِّذت النهوج المبيّنة أعلاه بصورة صحيحة وكانت الأحوال الجوية المحيطة المستخدمة هي الأحوال الجوية المحلية المحيطة بالطائرة أثناء الطيران.

تدهور المحرك

٦-٤٤ في حين يقوم صانعو الطائرة/المحرك دائماً بتصميم منتجاتهم لتكون في ذروة كفاءتها عند تسليمها، إلا أنه بدخول الطائرة الخدمة الإرادية قد يواجَه بعض التدهور في أدائها بمرور الوقت بسبب البيئات القاسية التي سيتم فيها تشغيل الطائرة والمحركات. والتحات وتدهور موانع التسرّب وتراكم الأوساخ على أجهزة وهياكل طائرات دوّارة لفترات طويلة من الوقت هي أمور يمكن أن تؤدي إلى تدهور الأداء. وإذا تُرك التدهور دون إيقافه يمكن أن تنتج عنه زيادات ملحوظة في استهلاك الوقود بمرور الوقت. وزيادات استهلاك الوقود هي زيادة غير ضرورية للناقلين، ونتيجة لذلك سيقومون عادة بصيانة منتجاتهم لإبقاء انخفاض مستوى الأداء على مستويات مقبولة. وتضمّن تحليل أجراه الفريق العامل الثالث للجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران تقييم تأثير تدهور الطائرات/المحركات ويقدّم الإرشادات التالية بصدد كيفية وموعد تطبيق التدهور في إجراء عمليات حصر المطارات.

٦-٤٥ تدهور هياكل ومحركات الطائرات في الخدمة لأغراض عمليات حصر المطارات (أي دورة الهبوط والإقلاع دون ٠٠٠ ٣ قدم) له تأثير صغير لكنه حقيقي على حرق الوقود وانبعاثات أكاسيد النيتروجين. ولا يوجد دليل يبيّن آثار التدهور على أول أكسيد الكربون أو

٧ محددة تماماً: حالة الوجهة (الموضع ثلاثي الأبعاد، السرعة، الوضع) وبارامترات المحرك وشكل هيكل الطائرة هي أمور معروفة.

الهيدروكربون. وللرقم الدخاني والجسيمات nvPM، ثمة إثبات بحصول تدهور لبعض المحركات المختبرة. وإنها مسألة قابلة لمزيد من التحقيق. وفي الوقت الحاضر، لا يمكن الإشارة إلى أي تصحيح على صعيد الأسطول.

٦-٤٦ كأحد تدابير توفير التكاليف، تتخذ شركات الطيران احتياطات لإبقاء آثار التدهور في الحد الأدنى عن طريق وضع برامج صيانة روتينية. واستناداً إلى تحليلات البيانات النظرية والفعلية لشركات الطيران، فإن حجم آثار التدهور يمكن أن يكون على أساس شامل للأسطول كما يلي:

استهلاك الوقود	+ ٣٪
انبعاثات أكاسيد النيتروجين	+٣٪
انبعاثات أول أكسيد الكربون	لا تغيير
انبعاثات الهيدروكربون	لا تغيير
الرقم الدخاني	لا تغيير
كتلة nvPMmass وعدد nvPMnumber	لا تغيير

٦-٤٧ بالنسبة للتطبيق على وضع النماذج، بما في ذلك قوائم حصر الانبعاثات، فإن الاستخدام الملائم لهذه المعلومات عن التدهور في أنشطة وضع النماذج يتوقف على النموذج/الافتراض والبيانات المدخلة. وعلى وجه التحديد، قد تشمل النماذج والافتراضات بالفعل ترك مجال للتدهور، إما صراحة (أي البيانات التشغيلية الفعلية للمحركات أو البيانات الفعلية أثناء الخدمة التي تمت معايرتها/التحقق منها)، وإما ضمنياً (أي عوامل تصويب تدفق الوقود المعتدل المطبّقة على قيم ترخيص المحركات)، أو قد تشمل بالفعل اعتدالاً يفوق بقدر كبير آثار التدهور لاستهلاك الوقود وانبعاثات أكاسيد النيتروجين. ويجب الحرص على تفادي الحساب المزدوج.

٦-٤٨ النهج البسيط هو تقدير مبالغ فيه بقدر كبير لانبعاثات الطائرات واستهلاك الوقود. وهامش اعتدال النهج البسيط واسع بقدر كاف لمنع تطبيق آثار التدهور.

٦-٤٩ يتيح النهج المتقدم تطبيق درجات ضبط مختلفة على منهجيات تدفق الوقود وكذلك نوعاً ما من حسابات أداء الطائرات. وفي حين أن النتائج أدق من نتائج النهج البسيط، فإن المقارنة ببيانات مسجِّل بيانات الرحلة تشير إلى أنه، بالنسبة للأساليب شائعة الاستخدام، لا يزال يوجد مستوى اعتدال على أساس شامل للأسطول بشأن حسابات تدفق الوقود الناجمة عن استخدام الوقت المقضي في الطريقة المقدّر حسب الأداء والوزن عند الإقلاع ودرجات ضبط الخانق في دورة الهبوط والإقلاع. وتُعتبر عوامل التدهور أصغر من الاعتدال الضمني الموجود بالفعل في الأسلوب، ولذلك لا يوصى بتطبيق عوامل التدهور.

٦-٥٠ حيث يستخدم النهج المتطوّر بيانات الأداء التشغيلي الفعلي للمحركات/للطائرات (بما في ذلك تدفق الوقود التشغيلي)، سيشمل ذلك ضمنياً من ثم آثار التدهور الفعلي. ومرة أخرى، لا يوصى بتطبيق عوامل التدهور.

٦-٥١ قد يتمثل استثناء من التوصية الواردة أعلاه في استخدام توليفة من الأساليب المتقدمة والمتطوّرة تستعمل توليفات محركات/طائرات فعلية والوقت المقضي في الطريقة المتوسط أو المقيس والوزن عند الإقلاع ودرجات ضبط الخانق، بالاقتران مع معدلات تدفق الوقود المحسوبة من بيانات ترخيص الايكاو. وفي هذه الحالة يوصى بتطبيق عوامل التدهور.

٦-٥٢ ينبغي تطبيق تدهور استهلاك الوقود فقط لوضع النماذج بالقرب من المطارات (أي دورة الهبوط والإقلاع) ولا ينبغي استخدامه لوضع النماذج العالمية حيث يختلف عامل التدهور عن القيم المذكورة هنا.

انبعاثات بدء التشغيل

٦-٥٣ أثناء تسلسل بدء التشغيل يوجد مقدار قليل للغاية من انبعاثات أكاسيد النيتروجين المنتجة بالمقارنة مع دورة الهبوط والإقلاع بسبب درجات حرارة وضغط المحرك المنخفضة للغاية، والانبعاثات الوحيدة التي تتطلب الأخذ بعين الاعتبار خلال تسلسل بدء التشغيل هي انبعاثات الهيدروكربون. ويمكن في العادة تقسيم بدء تشغيل المحركات الرئيسية للطائرة إلى مرحلتين هما: مرحلة ما قبل الإشعال ومرحلة ما بعد الإشعال.

مرحلة ما قبل إشعال المحرك

٦-٥٤ تمثل مرحلة ما قبل الإشعال الوقت الذي تمت فيه إدارة المحرك باستخدام محرك بدء التشغيل والسماح بإدخال الوقود إلى غرفة الاحتراق لتحقيق الإشعال. ويمكن أن يستغرق المرور من إدارة محرك بدء التشغيل إلى إشعال غرفة الاحتراق عدة ثوان، ولكن لا يوجد وقود يدخل المحرك عندما يبدأ عمل نظام الوقود وتكون صمامات الوقود مغلقة. وبسبب اقتضاء أوقات بدء تشغيل سريعة، فإن نظام الاحتراق مصمّم بحيث يتم الإشعال خلال انطلاق الشرارة الأولى أو الثانية من جهاز الإشعال، وعادة ما يكون ذلك في غضون ثانية واحدة من فتح صمامات الوقود ولا يتأخر أكثر من ثانيتين. وقد تأكد هذا من اختبار الصانعين للأجهزة باستخدام الوصول البصري لرؤية وصول الوقود وملاحظة الوقت حتى الإشعال.

٦-٥٥ ستكون انبعاثات مرحلة ما قبل الإشعال هيدروكربونات وقود صافية لأنه لم يُبدأ الاحتراق لذلك لا يُستهلك أي وقود داخل غرفة الاحتراق. ويسمح هذا بحساب انبعاثات الهيدروكربون مباشرة من تدفق الوقود. وخلال فترة ما قبل الإشعال تحدث ثلاثة أشياء:

أ) يُفتح صمام الوقود.

ب) يمتلئ الجهاز حاقن الوقود ويبدأ تدفق الوقود.

ج) يبدأ جهاز الإشعال إصدار الشرر ويُشعِل غرفة الاحتراق.

مرحلة ما بعد إشعال المحرك

٦-٥٦ في هذه النقطة تحدث عملية بدء التشغيل في ظروف تحميل المحرّك المنخفضة. وفي هذه النقاط للتشغيل ستتخذ انبعاثات المحرك بصورة أولية شكل انبعاثات هيدروكربون وأول أكسيد الكربون. ولا يعرف حاليا الأثر على انبعاثات nvPM: ويصبح القياس المباشر لانبعاثات بدء التشغيل صعباً من جراء تلويث الوقود غير المحروق والمحروق جزئياً لجهاز أخذ عينات الغازات. وبعد الإشعال بتحميل منخفض بشكل خاص للمحرك، كما تكون الحالة خلال بدء تشغيل المحرك، تصبح انبعاثات الهيدروكربون هي السائدة. ولهذا السبب فليس من غير المعقول إسناد انبعاثات بدء التشغيل للهيدروكربون وحده، مما ينتج عنه تقدير معتدل لانبعاثات الهيدروكربون. ويمكن أن تكون انبعاثات أول أكسيد الكربون أعلى من الهيدروكربون بالنسبة لبعض المحركات عند الدوران البطيء بنسبة ٧٪ وما دونه، وبذلك فإن انبعاثات الهيدروكربون بعد إشعال المحرك قد تكون منخفضة بقدر كبير عن التقدير القائم على كفاءة الاحتراق. وستكون قياسات الانبعاثات التفصيلية مطلوبة لتوفير تقدير أدق لانبعاثات الهيدروكربون.

٦-٥٧ تُحدّد انبعاثات ما بعد الإشعال من نقطة الإشعال مروراً بالتسارع إلى الدوران البطيء. وتقوم غرفة الاحتراق الآن بحرق الوقود، ولذلك يجب وضع معدل الاستهلاك في الاعتبار لتحديد الانبعاثات بدقة. ومن الصعب جداً أخذ عينات للغاز والجسيمات في ظروف دون الدوران البطيء للمحركات لأنه توجد كميات كبيرة من الوقود غير المحروق والمحروق جزئياً الذي يميل لتلويث جهاز أخذ العينات. ولتفادي هذه المسألة يتم التحليل باستخدام ارتباطات كفاءة الاحتراق التي حددها اختبار غرفة الاحتراق في ظروف دون الدوران البطيء. وتستند هذه الارتباطات إلى درجة حرارة مدخل غرفة الاحتراق وضغط مدخل غرفة الاحتراق وتدفق كتلة هواء غرفة الاحتراق وتدفق الوقود ونسبة الوقود إلى الهواء. وهذا النهج في تحديد كفاءة الاحتراق وإطلاق الحرارة مشترك بين جميع صانعي المحركات. بما أن قياس الانبعاثات nvPM بدأ مؤخرا فقط، يجب أن يفهم أكثر للتعامل مع تقديرات nvPM في ظروف دون الدوران البطيء للمحركات.

٦-٥٨ تُحسَب كفاءة غرفة الاحتراق الفورية ويتم تخصيص عدم الكفاءة الناجم عن ذلك كنسبة مئوية من الوقود غير المحروق الذي يمثل انبعاثات الهيدروكربون الناتجة عن ذلك. وباستخدام هذه العملية طوال التسارع إلى الدوران البطيء، يمكن استعمال مجموع انبعاثات الهيدروكربون الفورية لتوفير تقدير معتدل لانبعاثات الهيدروكربون الإجمالية من المحرك فيما بعد الإشعال.

٦-٥٩ أجرى المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء تحليلاً تفصيلياً لبيانات بدء تشغيل المحركات من محركات جنرال إلكتريك وورلس رويس وبرانت أند ويتني وانترناشيونال أيرو انجنز ووضع أسلوباً لتقدير انبعاثات بدء التشغيل الإجمالية بالاستناد إلى الدفع الإسمي على مستوى سطح البحر للمحرك المعني. وعُرضت نتائج هذه الدراسة على الفريق العامل الثالث للجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران في ورقة العمل CAEP8-WG3-CETG-WP06. ويوصي المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء بعلاقة خطية بسيطة من المرتبة الأولى بين الهيدروكربون والدفع الاسمي المقرر للمحرك عند الإقلاع. والمعادلة الموصى بها هي التالية:

انبعاثات الهيدروكربون عند بدء التشغيل (جرامات) = الدفع الاسمي عند الإقلاع (كيلونيوتن)/٢ + ٨٠ المعادلة ٣- أ١-٥

ملاحظة — يستند هذا التحليل إلى اختبار المحرك الفعلي الذي أجري في ظروف درجة حرارة معتدلة للمدخل. ومنهجية استنتاج انبعاثات الهيدروكربون عند بدء التشغيل معتدلة لأنها لا تأخذ في الحسبان أي أول أكسيد كربون خلال بدء التشغيل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تطبيق المنهجية على جميع المحركات قد ينطوي على التفاؤل بالنسبة للمحركات القديمة حيث لا تكون أجهزة التحكم في توزيع الوقود متطوّرة. وتنظر المنهجية أيضاً في الأوقات المعتادة للإشعال وأوقات بدء التشغيل المعتادة التي يمكن أن تكون متنوعة للغاية في الواقع العملي ومن شأنها أن تكون أطول في ظروف البرد الشديد. وسيكون من المعقول بيان أن الربية في المنهجية هي بنسبة ± ٥٠٪ تقريباً.

المنهجية المتقدمة لحساب أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون

٦-٦٠ يستخدم حساب كتل الانبعاثات بالنهج المتقدم بيانات ومعلومات إضافية والنماذج القائمة. وانبعاثات أي طائرة، بصفتها هذه، هي دالة (f) للبارامترات الرئيسية والخيارات المختارة. وهذا ينتج عنه حساب قائم على الأداء باستخدام مختلف البيانات والمعلومات الإضافية التي ينبغي أن ينتج عنها حصر أدق للانبعاثات سيكون فريداً للمطار المحدد وسنة الدراسة قيد النظر.

٦-٦١ لتحديد انبعاثات أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM أو عدد nvPM لتوليفة فريدة من طائرة/محرك، قد تُستخدم الصيغة التالية. ويُكرَّر هذا الأسلوب بالنسبة لكل طراز وحركة طائرة/محرك.

$$E^{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * f(FF_{jk}, Ei_{ijk} \text{ or } Thrust_{jk}, Cond_j, Ne_j)$$ المعادلة ٣-أ١-٦

حيث:

E_{ij} = الانبعاثات الإجمالية للملوِّث i مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM (بالجرامات) أو عدد nvPM (بعدد الجسيمات)، التي ينتجها طراز الطائرة j لدورة هبوط وإقلاع واحدة.

Ei_{ijk} = دليل انبعاث الملوِّث i مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM، (بالجرامات لكل ملوِّث لكل كيلوجرام من الوقود (جم/كجم من الوقود) أو عدد nvPM (بعدد الجسيمات لكل كيلوجرام من الوقود) (عدد/كجم من الوقود)) بالطريقة k (مثل الإقلاع والصعود والدوران البطيء والاقتراب) لكل محرك مستخدم على طراز الطائرة j.

FF_{jk} = تدفق الوقود للطريقة k، بالكيلوجرامات في الثانية (كجم/ث)، لكل محرك مُستَخدم على طراز الطائرة j.

$Thrust_{jk}$ = مستوى الدفع للطريقة k لطراز الطائرة j.

TIM_{jk} = الوقت المقضي في الطريقة للطريقة k، بالدقائق، للطائرة j.

Ne_j = عدد المحركات المستخدمة على الطائرة j، مع وضع احتمال استخدام ما يقل عن جميع المحركات خلال عملية السير في الاعتبار.

$Cond_j$ = الأحوال المحيطة (السرعة إلى الأمام، والارتفاع، والضغط، والحرارة، والرطوبة) لحركة طراز الطائرة j.

حساب الانبعاثات — النهج المتطوّر

البارامترات

٦-٦٢ يتم بمقتضى النهج المتطوّر، الحصول على البيانات الفعلية والمنقحة المطلوبة للتحليل من قياسات الوقت الحقيقي و/أو معلومات الأداء المبلغ عنها و/أو المخرجات المتشعّبة لوضع النماذج بالحاسوب. وعلى مستوى عال، تميّز هذه البيانات والمعلومات تكوين الأسطول الفعلي من حيث طراز الطائرة وتوليفات المحركات والوقت المقضي في الطريقة ومستويات الدفع وتدفق الوقود ويمكن أن تميّز ظروف تشغيل

غرفة الاحتراق لجميع مراحل العمليات الأرضية وعمليات الإقلاع. وفي بعض الحالات سيكون من المطلوب أيضاً[٨] تصويب أحوال تشغيل المحرك إلى الأحوال المرجعية، باستخدام أساليب مقبولة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن النظر في تطبيق البارامترات المحددة في ٦-٣٥ إلى ٦-٥٢ على أساس الإرشادات المقدمة في الجدول ٣-أ١-٢.

٦-٦٣ فيما يلي قائمة بالبيانات والمعلومات المطلوبة عادة لحساب انبعاثات محرك الطائرة باتباع النهج المتطوّر:

أ) مقاييس الوقت المقضي في الطريقة لمختلف طرز الطائرات/المحركات في مختلف ظروف الحمولة والطريق الجوي والأحوال الجوية.

ب) مقاييس تشغيل الدفع العكسي لمختلف طرز الطائرات/المحركات في أحوال جوية مختلفة.

ج) الأحوال الجوية للمطار، حيث يأخذ وضع نماذج أداء الطائرات/المحركات في الحسبان الاختلاف في الأحوال الجوية.

د) تواتر ونوع عمليات التشغيل لاختبار المحرك.

ه) تواتر قطر الطائرات التشغيلي.

و) الهيكل الأساسي للطائرة وقيودها (مثل طول المدرج).

٦-٦٤ بالمثل، قد يتم توفير البيانات التي قاسها المشغّلون، بما في ذلك ما يلي:

أ) درجات ضبط الخانق المعتادة أو الفعلية المستخدمة خلال تشغيل الدفع العكسي.

ب) بيانات شكل الطائرة/المحرك الفعلي.

ج) بيانات تدفق الوقود الفعلي.

د) سرعات الدوران البطيء الفعلية لطراز المحرك.

ه) درجات ضبط الخانق المعتادة أو الفعلية للاقتراب والإقلاع والصعود بعد الإقلاع (مثل إجراءات الإقلاع بدفع مخفّض).

و) الأشكال الجانبية للاقتراب والصعود.

ز) تواتر تشغيل السير بما يقل عن جميع المحركات.

هذه البيانات المقيسة والفعلية للمشغّل قد تستكمل أو تحلّ محل عناصر البيانات التي وُضعت منها نماذج.

٦-٦٥ باستخدام بيانات الأداء الفعلي والبيانات التشغيلية، يمكن حساب عوامل انبعاث المحرّك باستعمال برامج مثل أسلوب بوينغ الثاني لانسياب الوقود أو أسلوب Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

المنهجية المتطوّرة لحساب أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون وكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة nvPMmass وعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة nvPMnumber

٦-٦٦ بمجرد معرفة عوامل انبعاثات محركات الأسطول الفعلية والوقت المقضي في الطريقة وتدفق الوقود، تُحسَب انبعاثات الهبوط والإقلاع باستخدام نفس المعادلة المستخدمة في النهج المتقدم، غير أن ذلك يتم بقيم مدخلات منقّحة.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk}*60) * f(FF_{jk}, Ei_{ijk} \text{ or } Thrust_{jk}, Cond_j, Ne_j)$$ المعادلة ٣-أ١-٧

٨ ستكون مصادر تصويب هذه البيانات والحصول عليها هي شركات الطيران وصانعو المحركات والمجلد الثاني من الملحق السادس عشر وجمعية مهندسي المحركات AIR1845 وقاعدة بيانات الطائرة والنظام المحسّن لإدارة الحركة وبيانات مسجِّل بيانات الرحلة.

حيث:

E_{ij} = الانبعاثات الإجمالية للملوِّث i مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM (بالجرامات) أو عدد nvPM (بعدد الجسيمات)، التي ينتجها طراز الطائرة j لدورة هبوط وإقلاع واحدة.

Ei_{ijk} = دليل انبعاث الملوِّث I مثل أكاسيد النيتروجين أو أول أكسيد الكربون أو الهيدروكربون أو كتلة nvPM، (بالجرامات لكل ملوِّث لكل كيلوجرام من الوقود (جم/كجم من الوقود) أو عدد nvPM (عدد/كجم من الوقود) بالطريقة k (مثل الإقلاع والصعود والدوران البطيء والاقتراب) لكل محرك مستخدم على طراز الطائرة j.

FF_{jk} = تدفق الوقود للطريقة k، بالكيلوجرامات في الثانية (كجم/ث)، لكل محرك مُستَخدم على طراز الطائرة j.

$Thrust_{jk}$ = مستوى الدفع للطريقة k لطراز الطائرة j.

TIM_{jk} = الوقت المقضي في الطريقة للطريقة k، بالدقائق، للطائرة j.

N_{ej} = عدد المحركات المستخدمة على الطائرة j.

$Cond_j$ = الأحوال المحيطة (السرعة إلى الأمام، والارتفاع، والضغط، والحرارة، والرطوبة) لحركة طراز الطائرة j.

٧- انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية

٧-١ وحدة الطاقة الإضافية هي محرك توربيني – غازي صغير مقرون بمولّد كهربائي ويُستخدم لتزويد أجهزة الطائرة بالطاقة الكهربائية والهواء المضغوط عندما يكون ذلك مطلوباً. وعادة ما يتم تركيبها في مخروط ذيل الطائرة، وراء حاجز الضغط الخلفي، وتعمل بالكيروسين الذي يتم تزويدها به من خزانات الوقود الرئيسية. وليس جميع الطائرات مجهزة بوحدة طاقة إضافية، وعلى الرغم من أن استخدامها في فئة طائرات النقل النفاثة يكاد يصبح شاملاً الآن، فإن بعض الطائرات التوربينية المروحية وطائرات الأعمال النفاثة غير مجهّزة بوحدة طاقة إضافية.

منهجية حساب الانبعاثات

٧-٢ على خلاف المحركات الرئيسية للطائرة، فإن وحدات الطاقة الإضافية غير مرخّصة للانبعاثات، وعادة ما يعتبر الصانعون المعلومات عن معدلات انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية ملكية خاصة. ونتيجة لذلك، قلما تتوافر البيانات بصورة عامة لاستخدامها كأساس لحساب انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية.

٧-٣ لم ينجح التحليل المجرى حتى اليوم لوحدات الطاقة الإضافية في وضع منهجيات متقدمة ومتطوّرة تتنبأ بمزيد من الدقة بانبعاثات الجسيمات الدقيقة من وحدة الطاقة الإضافية. وإذا توافر مزيد من المعلومات للمستخدمين فإن ذلك يشجّعهم من ثم على استخدام هذه المعلومات في حالة أن يكون هذا مفيداً للدراسة. ونتيجة لذلك، يوصى في هذا الوقت باتباع النهج البسيط لحساب انبعاثات الجسيمات الدقيقة.

النهج البسيط

٧-٤ إذا كانت معلومات قليلة جداً معروفة عن طرز الطائرات التي يتم تشغيلها في المطار قيد الدراسة، يجوز من ثم إتباع النهج البسيط لانبعاثات وحدة الطاقة الإضافية. غير أنه من المحتمل أن تتسم النتائج بقدر كبير من الريبة المرتبطة باستخدام وحدة الطاقة الإضافية وانبعاثاتها. وقد أتيحت للجمهور المعلومات العامة عن انبعاثات وحدات الطاقة الإضافية. ويوصى باستخدام هذه المعلومات لأن النهج البسيط يستعمل قيماً متوسطة خاضعة للملكية وتتعلّق بمحركات محددة تم الحصول عليها من صانعي وحدات الطاقة الإضافية.

٧-٥ عندما لا يسمح مستوى التفصيل بشأن أسطول الطائرات باستخدام هذه العملية، تعتبر القيم الواردة في الجدول ٣-أ١-٣ ممثلة لانبعاثات وحدة الطاقة الإضافية لكل عملية طائرات في المطار قيد الدراسة (قد تُستخدم قيم أخرى إذا اعتُبرت ملائمة أكثر).

الجدول ٣-أ١-٣ — القيم الممثِّلة لانبعاثات وحدة الطاقة الإضافية لكل عملية طائرات

مجموعة الطائرات	قصيرة المدى[٩]	طويلة المدى
مدة تشغيل وحدة الطاقة الإضافية	٤٥ دقيقة	٧٥ دقيقة
حرق الوقود	٨٠ كجم	٣٠٠ كجم
انبعاثات أكاسيد النيتروجين	٧٠٠ جم	٢٤٠٠ جم
انبعاثات الهيدروكربون	٣٠ جم	١٦٠ جم
انبعاثات أول أكسيد الكربون	٣١٠ جم	٢١٠ جم
مجموع انبعاثات كتلة الجسيمات الدقيقة	٤٠ جم	٥٠ جم
انبعاثات عدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة	١٧#+٥,٧٥E	١٧#+٣,٧٥E

٦-٧ قيم حرق الوقود والانبعاثات المقدمة في الجدول ٣-أ١-٣ تستند إلى البيانات المتوسطة الخاضعة لحقوق الملكية بشأن وحدة طاقة إضافية محددة مستمدة من الصانع، ولكنها لا تمثّل أي نوع محدد من وحدات الطاقة الإضافية وتستند الأوقات التشغيلية المسجّلة إلى أوقات التشغيل المتوسطة التي خبرها عدد من العمليات ولا تمثّل بالضرورة أي عملية مطار محدد. ومن الجدير بالملاحظة أن أوقات تشغيل وحدات الطاقة الإضافية تتفاوت كثيراً في المطارات المختلفة بسبب عدد من العوامل ويمكن أن تختلف اختلافاً كبيراً عن القيم البديلة المبيّنة في الجدول ٣-أ١-٣. وإذا توافرت معلومات عن أوقات تشغيل وحدة الطاقة الإضافية الفعلية، إما من استقصاءات وإما كمدد قصوى من قيود المطار المحلية، قد يتسنى من ثمّ ضبط حرق وحدة الطاقة الإضافية للوقود وانبعاثاتها عن طريق تحليل عوامل القيم في الجدول باستخدام نسبة أوقات الاستقصاء مع القيم البديلة المبيّنة.

٧-٧ مثلاً، انبعاثات أكاسيد النيتروجين من وحدة الطاقة الإضافية لطائرة قصيرة المدى تطير لمدة ٦٠ دقيقة ستُحسب كما يلي:

NO_x (g/LTO) = (60 minutes per LTO) x (700 g/45 minutes) = 933 g/LTO.

٨-٧ بالإضافة إلى ذلك، تتوافر معلومات الصانع الموزعة على الجمهور والتي توضّح توليفات الطائرات ووحدات الطاقة الإضافية بما في ذلك متوسط دورة التشغيل لدليل انبعاثات ومعدلات حرق وقود وحدة الطاقة الإضافية.[١٠] وتتوافر أيضاً تقديرات اتحاد النقل الجوي لأوقات تشغيل وحدات الطاقة الإضافية، المستندة إلى استقصاء غير رسمي محدود يتعلق باستخدام وحدة الطاقة الإضافية. وقد يوفّر استخدام بيانات الصانعين لانبعاثات وحدات الطاقة الإضافية، إلى جانب تقديرات اتحاد النقل الجوي لأوقات تشغيل وحدة الطاقة الإضافية، تقديراً أدق لانبعاثات وحدة الطاقة الإضافية. وتوفر تقديرات اتحاد النقل الجوي لأوقات تشغيل وحدة الطاقة الإضافية تقديرات للطائرات ضيّقة الجسم وعريضة الجسم[١١] المزوّدة وغير المزوّدة بقدرة للأبواب. وهذه التقديرات مقدمة كأمثلة في الجدول ٣-أ١-٤ (قد تُستخدم قيم أخرى إذا اعتُبرت ملائمة أكثر).

٩ على الرغم من أنه لا يوجد تعريف مشترك لقصيرة المدى وطويلة المدى، يُقتصر في سياق هذه الوثيقة "قياس تقريبي" يربط هذه العبارة بطراز الطائرة. وقد تشمل المجموعة طويلة المدى الطائرات القادرة على بلوغ مدى أقصى يتجاوز ٨ ٠٠٠ كيلومتر (مثل A330, A340, A380, B747, B767-200ER, B763, B764, B777, B787, IL96). وقد تشمل المجموعة قصيرة المدى جميع الطائرات الأخرى.

١٠ مراسلة من Honeywell Engines & Systems إلى United States. EPA Assessment and Standards Division, APU Emissions، ٢٠٠٠/٩/٢٩.

١١ الطائرات ضيّقة الجسم: الطائرات ذات الممر الواحد. الطائرات عريضة الجسم: الطائرات ذات الممرين (مثلا A300, A330, A340, A380, B747, B767, B777, B787).

الجدول ٣-أ١-٤ — تقديرات اتحاد النقل الجوي لأوقات تشغيل وحدة الطاقة الإضافية بالنسبة للطائرات ضيّقة الجسم والطائرات عريضة الجسم

طراز الطائرة	وقت التشغيل حسب تقديرات اتحاد النقل الجوي (ساعة/دورة)	
	مزوّدة بقدرة للأبواب	غير مزوّدة بقدرة للأبواب
ضيّقة الجسم	من ٠,٢٣ إلى ٠,٢٦	٠,٨٧
عريضة الجسم	من ٠,٢٣ إلى ٠,٢٦	من ١,٠ إلى ١,٥

٧-٩ يمكن الاطلاع على توليفات وحدات الطاقة الإضافية والطائرات في التقرير الفني لإدارة الطيران الاتحادية عن عام ١٩٩٥ المعنون *Technical Data to Support FAA Advisory Circular on Reducing Emissions from Commercial Aviation* (FAA, 1995) . وتقدم هذه الوثيقة موجزاً دقيقاً لأي المجموعات الرئيسية من وحدات الطاقة الإضافية تُستخدم على الطائرات المختلفة. وتقدّم الوثيقة أيضاً مؤشر الانبعاثات وتدفق الوقود حسب الطرائق بالنسبة لوحدات قدرة ثانوية (احتياطية) محددة، وكلها ستوفّر تفاصيل إضافية من أجل حساب انبعاثات وحدات الطاقة الإضافية.

٧-١٠ على سبيل المثال، انبعاثات أكاسيد النيتروجين من وحدة الطاقة الإضافية لطائرة عريضة الجسم تستخدم 331-200ER غير مزوّدة بقدرة للأبواب، حيث يكون الوقت عند التحميل ١,٥ ساعة، ويكون دليل انبعاث أكاسيد النيتروجين ٩,٥١ رطل لكل ١٠٠٠ رطل من الوقود، ويكون تدفق الوقود ٢٦٧,٩٢ رطل في الساعة ستُحسب كما يلي:

NO_x (lb/LTO) = (1.5 hours per LTO) x (9.51 lb/1 000 lb fuel) * (267.92 lb fuel/hour) = 3.82 lb/LTO = 3 466 g/LTO.

النهج المتقدم

٧-١١ يمكن تقدير انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية من معرفة التوليفة الفعلية للطائرة/وحدة الطاقة الإضافية ووقت تشغيل الوحدة المذكورة، مع مؤشر الانبعاثات المعيّن للأنواع المنفردة من وحدات الطاقة الإضافية. ويمكن حساب الانبعاثات في ثلاث حالات مقترحة لحمولة تشغيل وحدة الطاقة الإضافية، وهي:

أ) بدء التشغيل (بدون حمولة)؛

ب) التشغيل العادي (نظام المراقبة البيئية القصوى)؛

ج) الحمولة العالية (بدء تشغيل المحركات الرئيسية)،

لتمثيل دورة تشغيل هذه المحركات.

٧-١٢ لكل من هذه الحمولات، يمكن حساب الانبعاثات من الصيغ التالية:

NO_x أكاسيد النيتروجين	=	معدل أكاسيد النيتروجين × الوقت عند التحميل.
HC الهيدروكربون	=	معدل الهيدروكربون × الوقت عند التحميل.
CO أول أكسيد الكربون	=	معدل أول أكسيد الكربون × الوقت عند التحميل.
tPMmass مجموع كتلة الجسيمات الدقيقة	=	مجموع كتلة الجسيمات الدقيقة × الوقت عند التحميل.
nvPMnumber عدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة	=	عدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة × الوقت عند التحميل.

٧-١٣ عندما لا يمكن تحديد بيانات الوقت الفعلي عند التحميل بدقة فإن الأوقات الواردة في الجدول ٣-أ١-٥ مقدمة كأمثلة (قد تُستخدم قيم أخرى إذا اعتُبرت ملائمة أكثر).

الجدول ٣-أ١-٥ — أمثلة الوقت الفعلي عند التحميل

النشاط	الطريقة	الطائرات ذات المحركين	الطائرات ذات الأربعة محركات
بدء تشغيل وحدة الطاقة الإضافية وموازنتها	بدء التشغيل	٣ دقائق	٣ دقائق
إعداد الطائرة، صعود الطاقم والركاب على متنها	تشغيل عادي	وقت التشغيل الإجمالي قبل المغادرة – ٣,٦ دقائق	وقت التشغيل الإجمالي قبل المغادرة – ٥,٣ دقائق
بدء تشغيل المحركات الرئيسية	حمولة عالية	٣٥ ثانية	١٤٠ ثانية
نزول الركاب وإغلاق الطائرة	تشغيل عادي	١٥ دقيقة (وقت بديل) أو حسب ما يُقاس	١٥ دقيقة (وقت بديل) أو حسب ما يُقاس

٧-١٤ لحساب انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية، تم إسناد طرز الطائرات الحالية إلى واحدة من ست مجموعات تميّز انبعاثاتها (أنظر الجداول من ٣-أ١-٦ إلى ٣-أ١-١١). ويمكن من ثم حساب انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية من الوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربون وأول أكسيد الكربون عن طريق ضرب الوقت عند التحميل في عامل الانبعاثات الملائم من هذه الجداول (قد تُستخدم قيم أخرى إذا اعتبرت ملائمة أكثر).

٧-١٥ يمكن حساب انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية الإجمالية من أكاسيد النيتروجين والهيدروكربون وأول أكسيد الكربون لكل دورة استدارة للعودة من جمع الانبعاثات لكل طريقة خلال الدورة بأكملها.

الجدول ٣-أ١-٦ — مجموعة الوقود لوحدة الطاقة الإضافية

مجموعة الوقود لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (كجم/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (كجم/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (كجم/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	68	101	110
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	77	110	130
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	69	122	130
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	108	164	191
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	106	202	214
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	146	238	262

الجدول ٣-أ١-٧ — مجموعة أكاسيد النيتروجين لوحدة الطاقة الإضافية

مجموعة أكاسيد النيتروجين لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (كجم/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (كجم/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (كجم/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	0.274	0.700	0.714
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	0.384	0.702	1.128
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	0.329	0.733	0.826
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	0.876	1.556	1.889
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	0.757	1.847	2.103
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	1.062	2.955	3.347

الجدول ٣-أ١-٨ — مجموعة الهيدروكربون لوحدة الطاقة الإضافية

مجموعة الهيدروكربون لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (كجم/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (كجم/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (كجم/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	1.026	0.027	0.049
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	0.763	0.043	0.035
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	0.125	0.040	0.035
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	0.108	0.018	0.020
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	0.113	0.048	0.042
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	0.093	0.031	0.030

الجدول ٣-أ١-٩ — مجموعة أول أكسيد الكربون لوحدة الطاقة الإضافية

مجموعة أول أكسيد الكربون لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (كجم/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (كجم/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (كجم/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	3.345	0.615	0.655
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	2.948	0.386	0.543
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	1.477	0.927	0.736
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	1.446	0.230	0.170
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	1.476	0.331	0.257
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	1.349	0.152	0.173

الجدول ٣-أ١-١٠ — مجموعة مجموع كتلة الجسيمات الدقيقة لوحدة القدرة الإضافية

مجموعة مجموع كتلة الجسيمات الدقيقة لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (كجم/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (كجم/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (كجم/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	0.063	0.035	0.036
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	0.057	0.022	0.021
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	0.048	0.056	0.047
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	0.031	0.038	0.041
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	0.070	0.117	0.127
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	0.022	0.025	0.023

الجدول ٣-أ١-١١ — مجموعة مجموع عدد الجسيمات الدقيقة لوحدة القدرة الإضافية

مجموعة مجموع عدد الجسيمات الدقيقة لوحدة الطاقة الإضافية	بدء التشغيل بدون حمولة (#/ساعة)	التشغيل العادي نظام المراقبة البيئية القصوى (#/ساعة)	حمولة عالية بدء تشغيل المحركات الرئيسية (#/ساعة)
طائرات الأعمال النفاثة/الطائرات الإقليمية النفاثة (المقاعد 100 >)	8.45E+15	2.00E+17	2.66E+17
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأحدث	3.65E+16	9.48E+16	1.14E+17
الطائرات الأصغر (≤ 100 المقاعد 200 >)، الطرز الأقدم	1.20E+18	1.06E+18	9.53E+17
الطائرات متوسطة المدى (≤ 200 المقاعد 300 >)، جميع الطرز	2.86E+17	3.49E+17	3.35E+17
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأقدم	2.11E+17	7.34E+17	1.18E+18
الطائرات الأكبر (≤ 300 المقاعد)، الطرز الأحدث	5.80E+16	2.04E+17	8.22E+16

النهج المتطوّر

٧-١٦ يقتضي النهج المتطوّر معرفة تفصيلية بنوع وحدة الطاقة الإضافية وطرائق التشغيل والوقت المقضي في هذه الطرائق وعمليات الطائرة وحرق الوقود وعوامل الانبعاث المرتبطة بذلك. وكما سلف بيانه، فإن الكثير من هذه قد لا تتوافر للجمهور وسيتعين الاتصال بصانعي وحدات الطاقة الإضافية. وبيانات الوقت المقضي في الطريقة هي عامل آخر سيحتاج إلى بحثه وجمعه بعناية. وقد لا تتوافر سوى القيم المعتادة لمشغّلين محددين/لطرز طائرات محددة، وفي هذه الحالة، قد يلزم استخدام القيم البديلة للنهج المتقدم، ولكن إلى جانب معدل انبعاث أدق من الصانعين لتقديم نتيجة موثوقة أكثر.

٧-١٧ يمكن من ثم حساب انبعاثات وحدة الطاقة الإضافية بالنسبة لكل طريقة تشغيل للوحدة المذكورة على متن الطائرة من الصيغة التالية:

كتلة الانبعاثات = الوقت المقضي في الطريقة × تدفق الوقود × مؤشر الانبعاثات، بالنسبة لكل طريقة ولكل نوع من الانبعاثات المعادلة ٣- أ١-٨

٧-١٨ يمكن من ثم حساب كتلة كل نوع من الانبعاثات بالنسبة لكل عملية عن طريق جمع كتل الانبعاثات لحمولات القدرة المختلفة. وأخيراً يمكن، عن طريق جمع الانبعاثات المحسوبة لتشغيل وحدة الطاقة الإضافية لكل طائرة، حساب الكتلة الإجمالية لكل نوع من الانبعاثات من أجل قائمة حصر الانبعاثات.

٧-١٩ قام الصانعون بتوفير أدلة انبعاثات وحدات الطاقة الإضافية على بعض مشغّلي المطارات والطائرات، غير أنه نظراً لطابع الملكية الذي تتسم به البيانات لم يتم التصريح باستعمالها على نطاق واسع. ونتيجة لذلك، قد لا يُتاح النهج المتطوّر إلا لقليل من أخصائيي وضع قوائم الحصر.

الإضافة (أ) للمرفق ١

بنك الايكاو لبيانات انبعاثات عادم المحركات

المحركات دون الصوتية

تعريف المحرّك:	Trent 895	نسبة غاز الفتحات الجانبية:	5.7
رقم التعريف الفريد:	5RR040	نسبة الضغط (π_{00}):	41.52
نوع المحرّك:	TF	الناتج الاسمي (F_{00}) (kN):	413.05

البيانات التنظيمية

القيمة المميزة:	الهيدروكربون	أول أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين	الرقم الدخاني
D_p/F_{00} (g/KN) أو الرقم الدخاني	1.7	23.1	78.6	6.9
كنسبة مئوية من الحد الأصلي	8.6 %	19.6 %	63.9 %	42.8 %
كنسبة مئوية من حد اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران/٢ (أكاسيد النيتروجين)			79.9 %	
كنسبة مئوية من حد اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران/٤ (أكاسيد النيتروجين)			87.3 %	

حالة البيانات

– التنظيم المسبق
x الترخيص
– المنقّحة (انظر الملاحظات)

حالة الانبعاثات

x البيانات المصحّحة حسب المرجع (المجلد الثاني من الملحق السادس عشر)

حالة محرك الاختبار:

– المحركات المصنوعة حديثاً
x المحركات المكرّسة لمعيار الإنتاج
– أخرى (أنظر الملاحظات)

حالة المحرك الراهنة (في الإنتاج، في الخدمة ما لم يُذكر خلاف ذلك)

– خارج الإنتاج
– خارج الخدمة

البيانات المقيسة

الطريقة	ضبط القدرة (% F_{00})	الوقت بالدقائق	تدفق الوقود (كجم/ث)	أدلة الانبعاثات (جم/كجم) الهيدروكربون	أول أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين	الرقم الدخاني
الإقلاع	100	0.7	4.03	0.02	0.27	47.79	-
الصعود	85	2.2	3.19	0	0.19	34.29	-
الاقتراب	30	4.0	1.05	0	0.54	11.39	-
الدوران البطيء	7	26.0	0.33	0.89	14.71	5.11	-
الوقود الإجمالي للهبوط والإقلاع (كجم) أو الانبعاثات (جم)				462	7834	28029	-
عدد المحركات				1	1	1	1
عدد الاختبارات				3	3	3	3
متوسط D_p/F_{00} (جم/كيلونيوتن) أو متوسط الرقم الدخاني (الأقصى)				1.1	18.8	67.81	5.34
SIGMA (D_p/F_{00} في جم/كيلونيوتن، أو الرقم الدخاني)				-	-	-	-
المدى (D_p/F_{00} في جم/كيلونيوتن، أو الرقم الدخاني)				0.95 – 1.24	17.71 – 19.67	65.76 – 69.5	4.7 – 6.0

الحمولات الثانوية

استخراج القدرة 0 (كيلوواط) في – درجات ضبط القدرة
تنفيس المرحلة 0 % التدفق الأساسي في – درجات ضبط القدرة

الأحوال الجوية

مقياس الضغط الجوي (كيلوبسكال)	100.2
درجة الحرارة (ك)	287
الرطوبة المطلقة (كجم/كجم)	.0089 - .0053

الوقود

المواصفة	وقود توربينات الطيران
هيدروجين/كربون	1.95
عطري (%)	16

الصانع: Rolls-Royce plc
مؤسسة الاختبار: Rolls-Royce plc
موقع الاختبار: SINFIN, Derby
مواعيد الاختبار: من أيلول/سبتمبر ١٩٩٤ إلى –

ملاحظات

١– بيانات من تقرير الترخيص DNS59304

أعدّت هذه الوثيقة في ٢٠٠٤/١٠/١. أنظر الموقع على الانترنت للاطلاع على أحدث نسخة.

الإضافة (ب) للمرفق ١

أدلة انبعاث الطائرات المبسّطة

الجدول ب–١ — عامل انبعاث الهبوط والإقلاع بحسب الطائرة

الطائرة[١]		عوامل انبعاث الهبوط والإقلاع/الطائرة (كجم/الهبوط والإقلاع/الطائرة وعدد الهبوط والإقلاع/الطائرة)[٢]							استهلاك الوقود (كجم/الهبوط والإقلاع/الطائرة)
		ثاني أكسيد الكربون[٣]	*الهيدروكربون*	*أكاسيد النيتروجين*	*أول أكسيد الكربون*	*ثاني أكسيد الكبريت*[٤]	*كتلة الجسيمات الدقيقة*	*عدد الجسيمات الدقيقة*	
الطائرات التجارية الكبيرة[٥]	A300	5 445	1.25	25.86	14.80	0.86	0.16	1.58E+18	1 723
	A310	4 761	6.30	19.46	28.30	0.75	0.17	9.99E+17	1 507
	A318	2 274	0.91	6.76	12.14	0.36	0.07	5.48E+17	719
	A319	2 390	1.20	8.70	7.86	0.38	0.14	2.54E+18	756
	A320	2 665	0.34	9.90	8.14	0.42	0.17	3.28E+18	843
	A320neo	1 981	0.10	5.95	6.95	0.31	0.04	2.35E+17	627
	A321	3 195	0.17	16.23	5.81	0.51	0.23	4.62E+18	1 011
	A321neo	2 373	0.09	10.76	6.94	0.38	0.06	2.86E+17	751
	A330-200/300	7 052	1.28	35.57	16.20	1.12	0.21	2.42E+18	2 232
	A340-200	6 111	4.05	31.08	25.75	0.97	0.18	8.18E+17	1 934
	A340-300	6 383	3.90	34.81	25.23	1.01	0.19	8.77E+17	2 020
	A340-500/600	10 659	0.14	64.45	15.31	1.69	0.19	7.95E+17	3 373
	A350-900	6 756	0.94	39.81	20.27	1.07	0.20	2.63E+18	2 138
	A350-1000	7 851	0.90	56.91	20.23	1.24	0.24	2.77E+18	2 484
	A380	11 952	3.70	69.42	39.06	1.89	0.34	3.37E + 18	3 782
	707	5 890	97.45	10.96	92.37	0.93	2.15	1.88E+19	1 864
	717	2 143	0.05	6.68	6.78	0.34	0.09	7.80E+17	678
	727-200	4 610	8.14	11.97	27.16	0.73	0.52	1.11E+19	1 459
	737-300/400/500	2 737	1.43	6.98	6.48	0.43	0.14	2.55E+18	866
	737-600	2 279	1.01	7.66	8.65	0.36	0.09	1.23E+18	721
	737-700	2 462	0.86	9.12	8.00	0.39	0.09	1.40E+18	779
	737-800/900	2 784	0.72	12.30	7.07	0.44	0.12	2.04E+18	881
	747-200	11 370	18.24	49.52	79.78	1.80	0.46	3.33E+18	3 598
	747-300	11 074	2.73	65.00	17.84	1.75	0.37	4.01E+18	3 504
	747-400	10 245	2.25	42.88	26.72	1.62	0.24	6.28E+17	3 242
	747-8	11 044	0.84	44.32	27.61	1.75	0.24	2.76E+18	3 495
	757-200	4 317	0.22	23.43	8.08	0.68	0.11	1.20E+18	1 366
	757-300	4 625	0.11	17.85	11.62	0.73	0.33	5.88E+18	1 464

الطائرة[1]		عوامل انبعاث الهبوط والإقلاع/الطائرة (كجم/الهبوط والإقلاع/الطائرة وعدد الهبوط والإقلاع/الطائرة)[2]							استهلاك الوقود (كجم/الهبوط والإقلاع/الطائرة)
		ثاني أكسيد الكربون[3]	*الهيدروكربون*	*أكاسيد النيتروجين*	*أول أكسيد الكربون*	*ثاني أكسيد الكبريت*[4]	*كتلة الجسيمات الدقيقة*	*عدد الجسيمات الدقيقة*	
	767-200	4 622	3.32	23.76	14.80	0.73	0.18	1.04E+18	1 463
	767-300	5 608	1.19	28.19	14.47	0.89	0.17	1.68E+18	1 775
	767-400	5 522	0.98	24.80	12.37	0.87	0.13	3.74E+17	1 748
	777-200/300	7 197	1.35	37.47	16.60	1.14	0.18	1.14E+18	2 277
	787-8	5 468	0.24	28.75	10.34	0.87	0.12	1.15E+18	1 730
	CS 100 / A220-100	1 890	0.06	8.25	3.44	0.30	0.05	5.34E+17	598
	CS 300 / A220-300	1 890	0.06	8.25	3.44	0.30	0.05	5.34E+17	598
	EMB170	1 589	0.04	4.84	4.05	0.25	0.03	1.01E+17	503
	EMB190	2 059	1.14	6.43	12.13	0.33	0.06	1.87E+17	652
	DC-10	7 287	2.37	35.65	20.59	1.15	0.24	1.26E+18	2 306
	DC-8-50/60/70	5 357	1.51	15.62	26.31	0.85	0.14	1.46E+18	1 695
	DC-9	2 646	4.63	6.16	16.29	0.42	0.29	6.18E+18	837
الطائرات التجارية الكبيرة[5] المصدر: الايكاو (٢٠١٨) المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء (٢٠١٤)[6] المجلس التنسيقي الدولي لاتحادات صناعات الطيران والفضاء (٢٠١٨)	MD-11	7 287	2.37	35.65	20.59	1.15	0.24	1.26E+18	2 306
	MD-80	3 184	1.87	11.97	6.46	0.50	0.27	5.76E+18	1 008
	MD-90	2 759	0.06	10.76	5.53	0.44	0.26	5.93E+18	873
	TU-134	2 931	17.98	8.68	27.98	0.46	0.66	1.24E+19	928
	TU-154-M	5 959	13.17	12.00	82.88	0.94	1.11	2.96E+19	1 886
	TU-154-B	7 030	119.03	14.33	143.05	1.11	1.58	1.96E+19	2 225
الطائرات الإقليمية/طائرات الأعمال التي يزيد دفعها على 26.7 kN	RJ-RJ85	1 906	1.35	4.34	11.21	0.30	0.09	2.09E+18	603
	BAE 146	1 801	1.41	4.07	11.18	0.29	0.07	8.26E+17	570
	CRJ-100ER	1 056	0.63	2.27	6.70	0.17	0.04	5.16E+17	334
	CRJ-900	1 517	0.04	4.40	4.12	0.24	0.03	7.34E+16	480
	ERJ-145	993	0.56	2.69	6.18	0.16	0.02	1.81E+17	314
	Fokker 100/70/28	2 387	1.43	5.75	13.84	0.38	0.34	9.19E+18	755
	Dornier 328 Jet	868	0.57	2.99	5.35	0.14	0.04	5.56E+17	275
	Gulfstream IV	2 030	0.55	4.99	8.25	0.32	0.07	5.22E+17	642
	Gulfstream V	1 857	0.60	5.70	8.90	0.29	0.13	1.00E+18	588
	Gulfstream VI	1 925	0.80	5.13	11.82	0.30	0.09	6.21E+17	609
	Gulfstream VII-500	1 619	0.01	6.34	3.20	0.26	0.03	6.04E+16	512
	RRJ95-LR	2 147	0.27	5.90	9.21	0.34	0.15	1.04E+18	679
	Yak-42M	1 919	1.68	7.11	6.81	0.30	0.09	1.62E+18	607
الطائرات النفاثة ذات الدفع المنخفض (الدفع الصافي يقل عن 26.7 kN)	Cessna 525/560	458	1.66	0.28	16.20	0.07	0.05	1.20E+18	145
الطائرات التوربينية المروحية وكالة بحوث الدفاع السويدية[8]	Beech King Air[8]	241	0.64	0.32	2.99	0.04	0.02	6.51E+17	76
	DHC8-100[9]	658	0.00	1.55	2.27	0.10	0.07	2.23E+18	208
	ATR72-500[10]	641	0.29	1.88	2.35	0.10	0.07	2.36E+18	203

ملاحظات —

١- ترد الطائرات المناظرة في الجدول باء-٣.

٢- يمكن الاطلاع على المعلومات بصدد أوجه عدم اليقين المرتبطة بالبيانات في المراجع التالية:

— QinetiQ/FST/CR030440 "EC-NEPAir: Work Package 1 Aircraft engine emissions certification — a review of the development of ICAO Annex 16, Volume II," by D.H. Lister and P.D. Norman.
— الملحق السادس عشر، الجزء الثاني، الطبعة الرابعة (٢٠١٧)
— الإضافة (د) للمرفق ١ بهذه الوثيقة

٣- ثاني أكسيد الكربون لكل طائرة على أساس 3.16 كجم من ثاني أكسيد الكربون الصادر لكل كيلوجرام من الوقود المستخدم إلى.

٤- يُفترض أن محتوى الوقود من الكبريت هو 0.05 في المائة (نفس الافتراض كما في تنقيح البرنامج الوطني لجرد غازات الدفيئة للفريق الحكومي الدولي المعني بتغيّر المناخ لعام ١٩٩٦).

٥- اختيرت أنواع المحركات لكل طائرة على أساس المحرك أو المحركات التي تمثل الأساطيل من حيث عدد عمليات الهبوط والإقلاع و/أو معدل مستويات انبعاثات المحرك حتى ٢٠١٨/٩/٣٠. وقد ينطوي هذا النهج، بالنسبة لبعض أنواع المحركات، على تقدير انبعاثات الأسطول غير المتصلة مباشرة باستهلاك الوقود بأقل من قدرها أو بأكثر من قدرها.

٦- بنك الايكاو (منظمة الطيران المدني الدولي) لبيانات انبعاثات عادم المحركات (٢٠٠٤) استناداً إلى بيانات الترخيص المقيسة المتوسطة. وتنطبق عوامل الانبعاث على ترخيص دورة الهبوط والإقلاع فقط. وتُحسب الانبعاثات الإجمالية واستهلاك الوقود على أساس الوقت القياسي المقضي في الطريقة ومستويات الدفع للايكاو.

٧- البيانات غير المعتمدة لقاعدة بيانات انبعاثات هبوط وإقلاع الطائرات التوربينية المروحية لوكالة بحوث الدفاع السويدية.

٨- ممثلة للطائرات التوربينية المروحية ذات قدرة المحرك بالأحصنة حتى 1000 قدرة المحرك بالأحصنة/محرك.

٩- ممثلة للطائرات التوربينية المروحية ذات قدرة المحرك بالأحصنة من 1000 إلى 2000 قدرة المحرك بالأحصنة/محرك.

١٠- ممثلة للطائرات التوربينية المروحية ذات قدرة المحرك بالأحصنة التي تتجاوز 2000 قدرة المحرك بالأحصنة/محرك.

الجدول ب-٢ — الطائرات والمحركات الممثِّلة

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإياتا في المجموعة
Airbus A300	PW4158	1PW048	A30B	AB3
			A306	AB4
				AB6
				ABF
				ABX
				ABY
Airbus A310	CF6-80C2A2	1GE016	A310	310
				312
				313
				31F
				31X
				31Y
A318	CFM56-5B9/3	8CM060	A318	318
Airbus A319	CFM56-5B5/P (60%) V2524-A5 (40%)	3CM027 3IA007	A319	319
Airbus A320	CFM56-5B4/3 (50%) V2527-A5 (50%)	8CM055, 1IA003	A320	320
				32S
Airbus A320Neo	PW1127G-JM CFM LEAP-1A26	18PW122 17CM082	A20N	320
Airbus A321	CFM56-5B3/3 (30%) V2533-A5 (70%)	8CM054, 3IA008	A321	321
Airbus A321Neo	PW1133G-JM CFM LEAP-1A35	18PW126 17CM083	A21N	321
Airbus A330-200	Trent 772B-60	3RR030	A330	330
			A332	332
Airbus A330-300	Trent 772B-60	3RR030	A330	330
			A333	333
Airbus A340-200	CFM56-5C3	1CM011	A342	342
Airbus A340-300	CFM56-5C4	2CM015	A340	340
			A343	343
Airbus A340-500	Trent 556-61	6RR041	A345	345
Airbus A340-600	Trent 556-61	6RR041	A346	346
Airbus A350-900	Trent XWB-84	14RR079	A350	350
Airbus A350-1000	Trent XWB-97	18RR080	A350	350
Airbus A380-8	GP7270 (60%)	9EA001, 18RR081	A388	380

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإياتا في المجموعة
	Trent 970 (40%)			
Boeing 707	JT3D-3B	1PW001	B703	703
				707
				70F
				70M
Boeing 717	BR700-715A1-30	4BR005	B712	717
Boeing 727-100	JT8D-7B	1PW004	B721	721
				72M
Boeing 727-200	JT8D-15	1PW009	B722	722
				727
				72C
				72B
				72F
				72S
Boeing 737-100	JT8D-9A	1PW007	B731	731
Boeing 737-200	JT8D-9A	1PW007	B732	732
				73M
				73X
Boeing 737-300	JT8D-9A	1PW007	B733	737
				73F
				733
				73Y
Boeing 737-400	JT8D-9A	1PW007	B734	737
				734
Boeing 737-500	JT8D-9A	1PW007	B735	737
				735
Boeing 737-600	CFM56-7B20	3CM030	B736	736
Boeing 737-700	CFM56-7B22	3CM031	B737	73G
				73W
Boeing 737-800	CFM56-7B26	3CM033	B738	738
				73H
Boeing 737-900	CFM56-7B26	3CM033	B739	739
Boeing 747-100	JT9D-7A	1PW021	B741	74T
			N74S	74L

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإيباتا في المجموعة
			B74R	74R
			B74R	74V
Boeing 747-200	JT9D-7Q	1PW025	B742	742
				74C
				74X
Boeing 747-300	JT9D-7R4G2 (66%) RB211-524D4 (34%)	1PW029 (66%) 1RR008 (34%)	B743	743
				74D
Boeing 747-400	CF6-80C2B1F	2GE041	B744	747
				744
				74E
				74F
				74J
				74M
				74Y
Boeing 747-8	GEnx 2B67	11GE139	B748	748
Boeing 757-200	RB211-535E4	3RR028	B752	757
				75F
				75M
Boeing 757-300	RB211-535E4B	5RR039	B753	753
Boeing 767-200	CF6-80A2	1GE012	B762	762
				76X
Boeing 767-300	PW4060	1PW043	B763	767
				76F
				763
				76Y
Boeing 767-400	CF6-80C2B8F	3GE058	B764	764
Boeing 777-200	Trent 877	2RR025	B772	777
				772
Boeing 777-300	GE90-115B	7GE099	B773	777
				773
Boeing 787-8	GEnx 1B70 Trent 1000 PkgB	11GE138 12RR057	B787	787
Airbus A220-100 / Bombardier CS 100	PW 1524G	16PW111	BCS1	CS1
Airbus A220-300 / Bombardier CS 300	PW 1525G	16PW110	BCS3	CS3

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإياتا في المجموعة
Douglas DC-10			DC10	D10
				D11
				D1C
				D1F
Douglas DC-10	CF6-50C2	3GE074	DC10	D1M
				D1X
				D1Y
Douglas DC-8	CFM56-2C1	1CM003	DC85	D8F
			DC86	D8L
			DC87	D8M
				D8Q
				D8T
				D8X
				D8Y
Douglas DC-9	JT8D-7B	1PW004	DC9	DC9
			DC91	D91
			DC92	D92
			DC93	D93
			DC94	D94
			DC95	D95
				D9C
				D9F
				D9X
Lockheed L-1011	RB211-22B	1RR003	L101	L10
				L11
				L15
				L1F
McDonnell Douglas MD11	CF6-80C2D1F	3GE074	MD11	M11
				M1F
				M1M
McDonnell Douglas MD80	JT8D-217C	1PW018	MD80	M80
			MD81	M81
			MD82	M82
			MD83	M83

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإياتا في المجموعة
			MD87	M87
			MD88	MD88
McDonnell Douglas MD90	V2525-D5	1IA002	MD90	M90
Tupolev Tu134	D-30-3	1AA001	T134	TU3
Tupolev Tu154	D-30-KU-154-II NK-8-2U	1AA004 1KK001	T154	TU5
Avro RJ85	LF507-1F, -1H	1TL004	RJ85	AR8
				ARJ
BAe 146	ALF 502R-5	1TL003	B461	141
			B462	142
			B463	143
				146
				14F
				14X
				14Y
				14Z
CRJ-100ER	CF34-3A1	1GE035		CR1
CRJ-900	CF34-8C5	8GE110		CR9
Embraer ERJ145	AE3007A1	6AL007	E145	ER4
				ERJ
Embraer EMB170	CF34-8E5A1	8GE105	E170	E70
Embraer EMB190	CF34-10E5A1	11GE144	E190	E90
Fokker 100/70/28	TAY Mk650-15	1RR021	F100	100
			F70	F70
			F28	F21
				F22
				F23
				F24
				F28
BAC 111	Spey-512-14DW	1RR016	BA11	B11
				B12
				B13

طراز الطائرة العام	محرك الايكاو	المعرف الفريد للمحرك	الايكاو	طائرة الإياتا في المجموعة
				B14
				B15
Dornier Do 328	PW306B	7PW078	D328	D38
Gulfstream IV	Tay 611-8C	11RR048		GRJ
Gulfstream V	BR700-710A1-10	6BR010		GRJ
Gulfstream VI	BR-700-725A1-12	11BR011		
Gulfstream VII-500	PW814GA	19PW127		
RRJ95-LR	SaM146-1S18	11PJ002		
Yakovlev Yak 42	D-36	1ZM001	YK42	YK2
Cessna 525/560	PW545A or similar	FAEED222		
Beech King Air	PT6A-42	PT6A-42		
DHC8-100	PW120 or similar	PW120		DH1
ATR72-500	PW127F or similar	PW127F		AT5

ملاحظة — ويتضمن الجدول ب–٢ محركات تمثيلية لنموذج الطائرة وهي ليست بالضرورة الأكثر استخداما. لذلك، قد تكون هناك اختلافات من الجدول ب–١ عند حساب كتل الانبعاثات LTO.

الإضافة (ج) للمرفق ١

قواعد البيانات المتوافرة للجمهور لمضاهاة طراز الطائرة بنوع المحرك

PUBLICLY AVAILABLE DATABASES FOR MATCHING AIRCRAFT TYPE WITH ENGINE TYPE

1. Useful data fields in the IOAG database

Time flight is scheduled to depart origin in local time	=	LveTime
Time flight is scheduled to depart origin in Greenwich Mean Time (GMT)	=	LveGMT
Number representing arrival airport	=	ArrCode
Arrival airport alphabetic code (e.g. JFK)	=	Arrive
Time flight is scheduled to arrive in local time	=	ArrTime
Time flight is scheduled to arrive in GMT	=	ArrGMT
Type of aircraft, in code (e.g. B738)	=	Equip
Abbreviation for air carrier name	=	FAACarr
Flight number	=	FltNo
1/0 code showing days of the week that the flight flies that time slot and city pair	=	Freq
Carrier name in Air Transport Association (ATA) Code	=	ATACarr
Air carrier company in two-letter IOAG code	=	IOAGCARR
Commuter or carrier company	=	CarrType
Aircraft type in ATA code	=	ATAEquip
J for jet, T for turboprop, P for propeller-driven aircraft	=	EqType
Air carrier company name spelled out	=	CarrName
Origin city and country/State, spelled out	=	LveCity
Destination country or State if the destination is in the United States	=	ArrCntry
Origin country or State if the origin is in the United States.	=	LveCntry
Year and month of the current schedule	=	YYMM
0/1 code indicating whether this flight flies on each day of the month given by the schedule	=	Eday
Number of times (days) this fight is flown between this city-pair at this time slot in a month	=	FPM

2. Useful data fields in the BACK World Fleet Registration Database

Aircraft type	Equipment type (LAR code)	Overall length (m)
Aircraft serial number	Equipment type (IOAG code)	Belly volume (cubic metres)
Aircraft manufacturer	Aircraft equipment model	Fuel capacity
Registration/tail number	Operator category	Maximum take-off weight (kg)
Engine manufacturer	Operator name	Maximum payload (kg)
Engine model	Operator IATA code	Maximum landing weight (kg)
Number of engines	Operator ICAO code	Range with maximum fuel (km)
Aircraft noise class (stage)	Wingspan (m)	Range with maximum payload (km)
Equipment category	Wing area (square metres)	

3. Useful data fields in the ASQP Database

IATA carrier code
Flight number
Depart airport
Arrival airport
Date of operation
Day of week
IOAG depart time
Actual depart time
IOAG arrival time
CRS arrival time
Actual arrival time
Wheels-off time
Wheels-on time
Aircraft tail number
Taxi-out time
Taxi-in time

4. Useful data fields in the JP Airline Fleets Database

Operator name
Operator IATA code
Operator ICAO code
Aircraft tail number
Aircraft type and subtype
Month and year of manufacturing
Construction number
Previous identity
Number of engines
Manufacturer of engines
Exact type of engines
Maximum take-off weight (kg)
Seat configuration (or other use than for passenger services)

الإضافة (د) للمرفق ١

الأسلوب V4.0 للتقريب من الدرجة الأولى لتقدير انبعاثات كتلة وعدد الجسيمات الدقيقة من محركات الطائرات

١- المصطلحات

AFR	نسبة الهواء إلى الوقود (أساس الكتلة)
BPR	نسبة غاز الفتحات الجانبية
Ck	تركيز كتلة الجسيمات غير المتطايرة المقدرة لمحرك يعمل على النسق k، وهو تقدير لكتلة الجسيمات غير المتطايرة في موقع احدى الأدوات في نظام القياس الموحد للايكاو لكل حجم قياسي للتدفق (g/m3 جرام بالمتر المكعب)
Cr	معامل مقياس الوحدة لتركيز كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة nvPMmass
Dr	معامل مقياس الوحدة لتقدير متوسط قطر هندسي (GMD)
EI	مؤشر الانبعاثات. معدل انبعاث ملوّث على أساس حرق كيلوجرام واحد من الوقود. وعادة ما تُعطى وحدات مؤشر الانبعاثات في شكل جم/كجم من الوقود. غير أنه، توخياً للتيسير، تُستخدم الوحدة ملجم/كجم من الوقود في هذه الوثيقة ما لم يُبيَّن خلاف ذلك صراحة
EIHC	مؤشر الانبعاثات للهيدروكربونات الإجمالية كما يرد في قائمة بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات (جم/كجم من الوقود)
EIHCCFM56	مؤشر الانبعاثات للهيدروكربونات الإجمالية من المحرك CFM56-2-C5 كما يرد في قائمة بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات (جم/كجم من الوقود)
EInvPMmass–orgCFM56	مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات العضوية المتطايرة للمحرك CFM56-2-C1 حسبما هو مستمد من مقاييس APEX1 (ملجم/كجم من الوقود)
EIHCEngine	مؤشر الانبعاثات للهيدروكربونات الإجمالية المستمد من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بالنسبة للمحرك موضوع النظر (جم/كجم من الوقود)
ElnvPMmass	مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (جم/كجم من الوقود أو ملجم/كجم من الوقود) على مستوى الأداة
EInvPMmass,e	مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (جم/كجم من الوقود أو ملجم/كجم من الوقود) عند منفذ المحرك
EInvPMnumber,e	مؤشر الانبعاثات لعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (جم/كجم من الوقود أو ملجم/كجم من الوقود) عند منفذ المحرك
EItPMmass	مؤشر الانبعاثات لكتلة لمادة الجسيمية الإجمالية. مجموع كتلة المكوّنات المتطايرة وغير المتطايرة (ملجم/كجم من الوقود)
EIvPMmass-FSC	مؤشر الانبعاثات لكتلة مادة السلفات الجسيمية المتطايرة بسبب كبريت الوقود (ملجم/كجم من الوقود)

EIvPMmass–FuelOrganics	مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة وذلك أساساً بسبب الاحتراق غير الكامل للوقود (ملجم/كجم من الوقود)
HC	الهيدروكربونات الإجمالية
ICAO	منظمة الطيران المدني الدولي
Fk	قوة دفع محرك ثابت بمستوى سطح البحر في وضع التشغيل على النسق k
Foo	قيمة دفع المحرك حسب قائمة بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات
FOA	التقريب من الدرجة الأولى. FOA 4.0 هي النسخة الأخيرة من منهجية توفير أدلة الانبعاث للجسيمات الدقيقة المنبعثة من الطائرات المدرجة في قائمة بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات
FSC	محتوى الوقود من الكبريت (الكسر من الكتلة)
GMD_k	متوسط قطر هندسي (GMD) للجسيمات غير المتطايرة أثناء التشغيل على النسق k
$k_{slm,k}$	عامل تصحيح خسارة الجسيمات الخاص بوضع تشغيل معين
LTO	دورة الايكاو للهبوط والإقلاع
nvPM	جسيمة دقيقة غير متطايرة . جسيمات منبعثة متواجدة على سطح منفذ فوهة عادم محرك الطائرة وهي لا تتطاير عندما ترتفع تسخن بدرجة حرارة تبلغ ٣٥٠ درجة مئوية. تتألف هذه الجسيمات أساساً من الكربون الأسود.
OPR	إجمالي نسبة الضغط
MTF	المروحة التوربينية المختلطة
MWout	الوزن الجزيئي لـ SO4–2 (SVI = 96)
MWSulphur	الوزن الجزيئي لعنصر الكبريت (SIV = 32)
Nr	معامل مقياس الوحدة لعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة
PM	الجسيمات الدقيقة
Qk	حجم عادم محدد لمحرك يعمل على المنوال k، حجم العادم حسبما يتصل بحرق الوقود (م٣/كجم من الوقود)
Qr	معامل مقياس الوحدة لحجم عادم محدد
ϱ	الكثافة الفعالة المفترضة لجسيمات nvPM
σ	الانحراف المعياري الهندسي المفترض لتوزيعات حجم الجسيمات nvPM
SF	عامل التدريج

SN	الرقم الدخاني. وتستند المنهجية في هذه الوثيقة إلى أرقام الدخان حسبما هي معرّفة في المرفق ٢ بالملحق السادس عشر الصادر عن الايكاو
SNk	الرقم الدخاني لمحرك يعمل على النسق k. بالنسبة لدورة LTO القياسية التي اعتمدتها الايكاو، فالمراحل المحددة هي: الإقلاع و الصعود والاقتراب أو الدوران البطيء
SNmax	الرقم الدخاني الأقصى
STP	درجة الحرارة والضغط القياسيان. وهما مستخدمان في هذه الوثيقة 273.15 درجة كالفين ووحدة ضغط جوي واحدة من الضغط المطلق
TF	المروحة التوربينية غير المختلطة
vPMmass	كتلة الجسيمات الدقيقة المتطايرة. وتتألف الكتلة من الجسيمات التي تتطاير عند تسخينها إلى درجة حرارة تبلغ ٣٥٠ درجة
tPMmass	مجموع كتلة الجسيمات الدقيقة. حاصل جمع كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة وكتلة الجسيمات الدقيقة المتطايرة
ε	كفاءة تحويل كبريت الوقود (الكسر من الكتلة)
δ_k	نسبة $\frac{EI_{PMvol-orgCFM56}}{EI_{HCCFM56}} = \frac{EI_{PMvol-orgCFM56}}{EI_{HCCFM56}} EI_{PMvol-FuelOrganics}$ حسبما هي مستمدة للاستخدام في المعادلة د-١٢ (ملجم/كجم).

٢- مقدمة

٢-١ FOA4.0 هو أسلوب لتقدير الانبعاثات الجسيمية المنبعثة من العادم. بالنسبة إلى كتلة الجسيمات غير المتطايرة والمتطايرة، إن نتائج لكل طريقة تشغيل المحرك تعرض في شكل أدلة انبعاث ككتلة منبعثة لكل كيلوجرام من الوقود. لعدد انبعاثات الجسيمات غير المتطايرة، يعطى مؤشر الانبعاثات لكل طريقة تشغيل المحرك كعدد من الجسيمات المنبعثة لكل كيلوجرام من الوقود. ولا يوجد حاليا تقدير لعدد الجسيمات المتطايرة المتاحة.

الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة (مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة EInvPMmass
مؤشر الانبعاثات لعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة EInvPMnumber)

٢-٢ يستند تقدير كتلة الجسيمية الدقيقة غير المتطايرة إلى رقم المحرك الدخاني ونسبة الهواء إلى الوقود و، عند الانطباق، نسبة تحويله الجانبي. وجوهر التقنية هو تحويل الرقم الدخاني عن طريق ارتباط تجريبي إلى تركيز C كتلة غير المتطايرة، هو كتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة لكل وحدة حجم من العادم. وتُستخدم نسبة الهواء إلى الوقود ونسبة غاز الفتحات الجانبية للمحرك لحساب حجم العادم (Q) لكل كيلوجرام من الوقود، ثم يعطي تركيز الكربون وحجم العادم الناتجان عن ذلك مؤشر الانبعاثات بوحدة الكتلة لكل كيلوجرام من حرق الوقود.

٢-٣ قد تم تطوير الربط المستخدم في FOA4.0 لتحويل الرقم الدخاني إلى تركيز كتلة غير متطايرة على أساس قياسات تشبه تلك المستخدمة لأغراض الترخيص ويتوافق مع تقدير تركيز الكتلة على مستوى الجهاز وليس في مستوى فوهة المحرك. كما تتأثر قياسات الجسيمات الدقيقة بآليات تحديد الخسارة المادية أثناء عملية أخذ العينات، والقيم المقدرة على مستوى الجهاز أقل من تلك الموجودة على مستوى فوهة المحرك. ويتعين تصحيح الخسائر بالنسبة لقوائم جرد الانبعاثات، ويوفر FOA4.0 تصحيحاً تجريبياً.

٢-٤ ويستند تقدير مؤشر الانبعاثات لعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة EInvPMnumber إلى مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة EInvPMmass بعد تصحيح الخسارة، وهو تقدير للجسيمات متوسط قطر هندسي (GMD)، ولكثافة الجسيمات المفترضة ولتوزيع حجم الجسيمات.

٢-٥ بالنسبة لكتلة وعدد جسيمات nvPM، تستند طريقة FOA4.0 إلى منهجية SCOPE11 لتقدير انبعاثات الكربون الأسود للطائرات (انظر قائمة المراجع).

٢-٦ يجب حساب دليل EInvPMmass,e ودليل EInvPMnumber,e لدرجات ضبط قدرة الدفع المختلفة المستخدمة بالقرب من المطارات.

مادة الكبريتات الجسيمية المتطايرة EIvPMmass-FSC

٢-٧ تتشكل مادة الكبريتات الجسيمية المتطايرة من كبريت الوقود عن طريق تأكسد SO_2 (S^{IV}) إلى SO_3 (S^{VI}) والهدرتة اللاحقة، في الخيط من العادم، لـ SO_3 إلى H_2SO_4. ويُحسب مؤشر الانبعاثات من محتوى الوقود من الكبريت ومعدّل التحويل من S^{IV} إلى S^{VI} (ε). ومؤشر الانبعاثات، بصفته هذه، لا يختلف باختلاف ضبط القدرة.

الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة ($EI_{vPMmass-FuelOrganics}$)

٢-٨ مقاييس المواد العضوية القابلة للتكثّف في عادم المحرك محدودة للغاية. واستناداً إلى افتراض أن المواد العضوية القابلة للتكثّف تتعلق مباشرة بالهيدروكربونات غير المحروقة، يوضع تقدير عن طريق تدريج دليل انبعاث هيدروكربون (HC) الايكاو المُبلغ عنه للمحرك مع أدلة انبعاث محركات أخرى في قاعدة البيانات. وبوضع افتراض ثان أن المحركات الحديثة تعمل بنفس الطريقة، يمكن ضرب نسبة الهيدروكربون في دليل انبعاث كتلة الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة للمحرك CFM56-2-C1 التي قيست خلال تجربة الإدارة الوطنية للطيران والفضاء رقم ١ لانبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات (APEX1).[١] والنتيجة هي دليل انبعاث محدد لكل من المحرك وضبط القدرة بالنسبة للجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة.

الجسيمات الدقيقة من مزلّق المحرك

٢-٩ لا تتوافر بيانات تسمح بالتنبؤ بهذا الدليل لانبعاث الجسيمات الدقيقة. ويُفترض حالياً، بالاستناد إلى نتائج القياس من APEX1، أن دليل انبعاث الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة الحالي يتضمن مساهمة سببها زيت التزليق.

٣- مصادر البيانات

بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات

٣-١ يمكن الحصول في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات على قيم الرقم الدخاني ومؤشر الانبعاثات للهيدروكربونات ونسبة غاز الفتحات الجانبية للمحركات بالنسبة للدرجات الأربع لضبط القدرة لدورة الهبوط والإقلاع. ولسوء الحظ توجد ثغرات في بنك البيانات بالنسبة لقيم الرقم الدخاني ونسبة غاز الفتحات الجانبية. وقد عالجت لجنة الايكاو المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران هذه المشكلة كما يلي:

أ) إضافة بيانات محركات جديدة.

ب) الإيضاح بالنسبة للمحركات التوربينية المختلطة ذات المراوح الداخلية من حيث ما إذا كانت القياسات تُجرى على تدفقات صلب المحرك أو على تدفقات صلب المحرك وتدفقات التحويل الجانبي على السواء، عن طريق الإشارة إلى المروحات

[١] NASA. Aircraft Particle Emissions Experiment (APEX), C.C. Wey, U.S. Army Research Laboratory, Glenn Research Center, Cleveland, Ohio, ARL–TR–3903, 2006-214382, September 2006.

التوربينية غير المختلطة TF إذا كان الرقم الدخاني المبلغ عنه يوافق صلب المحرك والإشارة إلى المروحات التوربينية المختلطة MTF إذا كان الرقم الدخاني المبلغ عنه مخففا من خلال المروحة التي تحول مسار الهواء جانبيا.

ج) إضافة بيانات الرقم الدخاني الناقصة.

٢-٣ نظراً لأن بيانات الرقم الدخاني في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات مشتتة بالنسبة للعديد من المحركات، يبيّن بعضها الرقم الدخاني الأقصى فقط، وتم إعداد مبادئ توجيهية عامة للمساعدة على سد ثغرات البيانات. وتنطبق هذه المبادئ التوجيهية عندما يظهر الرمز "–" أو "NA"، بدلاً عن قيمة واردة في القائمة، مما يدل إما على أن الرقم الدخاني غير مستمد على مستوى ضبط قدرة الدفع المعيّن وإما على أنه لم يتم الإبلاغ عنه نظراً لأنه من المطلوب الإبلاغ عن الحد الأقصى فقط. وأعد هذه المبادئ التوجيهية كالفيرت[٢] وهي تستند إلى تحليل اتجاهات الطريقة داخل مجموعات المحركات لاستخراج عوامل التدريج التي يمكن استخدامها للتنبؤ بالبيانات الناقصة. وعامل التدريج هو نسبة رقم دخان حسب الطريقة إلى الرقم الدخاني الأقصى لأحد المحركات:

$$SF = \frac{SN_k}{SN_{max}} \quad SF = \frac{SN_k}{SN_{max}}$$ (المعادلة د–١)

حيث أن:

SF = عامل التدريج؛

SN_k = الرقم الدخاني لإحدى الطرائق k (الإقلاع أو الصعود أو الاقتراب أو الدوران البطيء)؛

SN_{max} = الرقم الدخاني الأقصى؛

٣-٣ من أجل التقليل من الجوانب غير المؤكدة في وضع قيم عامل التدريج، استُبعدت من التحليل أرقام الدخان التي تقل قيمتها عن ٦. وترد قيم عامل التدريج الناتجة عن ذلك في الجدول د–١. وأغلبية المحركات تشملها فئة المحركات غير المزودة بغرفة احتراق حلقية مزدوجة، غير أن Aviadgatel وGeneral Electric CF34 وTextron Lycoming والمحركات المزودة بغرفة احتراق حلقية مزدوجة لديها قيم عامل تدريج تختلف اختلافاً كبيراً عن المعيار.

الجدول د–١ قيم عامل التدريج المقترحة للتنبؤ بالرقم الدخاني الناقص في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات

فئة المحرك	الإقلاع	الصعود	الاقتراب	الدوران البطيء
معظم المحركات غير المزوّدة بغرفة احتراق حلقية مزدوجة	1.0	0.9	0.3	0.3
محركات Aviadgatel	1.0	1.0	0.8	0.3
محركات GE CF34	1.0	0.4	0.3	0.3
محركات Textron Lycoming	1.0	1.0	0.6	0.3
محركات CFM DAC	0.3	0.3	0.3	1.0

٤-٣ باستخدام هذه القيم لعامل التدريج والمعادلة د–١، يمكن ملء الرقم الدخاني الناقص إذا عُرفت واحدة على الأقل من قيم الرقم الدخاني حسب الطريقة لأحد المحركات.

٥-٣ من المهم أيضاً ملاحظة أنه بالإضافة إلى بعض الأرقام الدخانية الناقصة في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات، توجد شواغل أخرى لتقدير الجسيمات nvPM أيضاً. وإذا أدرج الرقم دخاني في القائمة بوصفه صفراً (0)، فإن تقديرات FOA4.0 لدليل EInvPMmass

٢ J.W. Calvert, "Revisions to Smoke Number Data in Emissions Data bank," Gas Turbine Technologies, QinetiQ, February 23, 2006.

ودليل EInvPMnumber ستكون صفراً أيضاً، وهو تقدير واقعي، ولن تكون القيم موثوقاً بها إلى حد كبير. وفي بعض الحالات، يرد الرقم الدخاني لضبط القدرة على الدوران البطيء في القائمة مع نجمة (*) مكتوبة فوق السطر. ويدل هذا على أن الرقم الدخاني قد حُسب على ضبط قدرة غير ٧٪. وعادة، عندما يكون الرقم الدخاني أقل من ٣، تصبح تقديرات الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة غير موثوق بها إلى حد كبير. وأخيراً، إذا كانت القيمة مسبوقة بعلامة "<" ينبغي مع ذلك استخدام القيمة المقدمة، مع العلم بأن النتيجة قد تكون على الأرجح على درجة كبيرة من التضخيم (يمكن تعديل مصطلحات بنك الايكاو EEDB، حسب الاقتضاء).

نسبة الهواء إلى الوقود

٣-٦ نسبة الهواء إلى الوقود غير مدرجة في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات. وقد تم التغلّب على هذه المشكلة باستخدام نسب الهواء إلى الوقود للأسطول المتوسط. وتم الاتفاق على هذه القيم العامة مع ممثلي ثلاثة من صانعي المحركات الرئيسيين وهي مبيّنة في الجدول د-٢.

الجدول د-٢ — نسب الهواء إلى الوقود التمثيلية المدرجة في القائمة حسب درجات الايكاو لضبط القدرة (الطريقة k)

ضبط الدفع	نسبة الهواء إلى الوقود
7% (K= الدوران البطيء)	106
30% (K= الاقتراب)	83
85% (K= الصعود)	51
100% (K= الإقلاع)	45

مادة الكبريتات الجسيمية المتطايرة ($EI_{vPMmass-FSC}$)

٣-٧ يمكن أن تتفاوت محتويات الوقود من الكبريت تفاوتاً كبيراً بين كميات وقود الطيران المختلفة وهي غير مدرجة في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات. وللتطبيق على جردات المطار من الانبعاثات، تُرك هذا المُدخل كمتغيّر للسماح باستخدام أكثر قيمة قابلة للتطبيق، مثل المتوسط الوطني و/أو الدولي للمحتويات من الكبريت. وكمرشد، فإن القيم المعتادة لمحتوى الوقود من الكبريت تتراوح من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٦٨ في المائة من الوزن[٣] بمتوسط عالمي قدره ٠,٠٣ في المائة من الوزن.[٤] ويوصى حالياً باستخدام قيمة معتدلة قدرها٠,٠٦٨ في المائة من الوزن في حالة عدم وجود بيانات محددة أكثر بشأن محتوى الوقود من الكبريت.

٣-٨ توجد ريبة بشأن عملية تحويل S^{IV} إلى S^{VI}، الإنتاج غير الخطي لـ S^{VI} الذي يتفاوت مع تغيّر محتوى الوقود من الكبريت وأحوال تشغيل المحرك. أما المتغيّر لكفاءة تحويل كبريت الوقود (ε) فقد يدخله الممارس مباشرة إذا كانت المعلومات التفصيلية معروفة. غير أن القيمة كثيراً ما تكون غير معروفة ويوصى بقيمة بديلة في هذه الحالات. واستناداً إلى أحدث المقاييس من تجربة انبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات وPartemis[٥] يمكن أن تتراوح كفاءة تحويل الكبريت من٠,٥ إلى أكثر من ٣,٥ في المائة من الوزن. ويوصى بقيمة متوسطة قدرها ٢,٤ في المائة من الوزن، بالاستناد إلى قياسات تجربة انبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات، كقيمة بديلة. ولا تزال قيمة كفاءة تحويل كبريت الوقود موضوع بحوث جارية ومن المتوقع إجراء تنقيحات في المستقبل.

---

٣ Coordinating Research Council, Inc., *Handbook of Aviation Fuel Properties*, Third Edition, CRC Report No. 635, Alpharetta, GA, U.S.A, 2004.

٤ IPCC, *Aviation and the Global Atmosphere*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1999, ISBN 0 521 66404 7.

٥ E. Katragkoue et al., "First gaseous Sulphur (VI) measurements in the simulated internal flow of an aircraft gas turbine engine during project PartEmis," *Geophysical Research Letters*, November 2003, ISSN 0094-8276.

الأيروسول العضوي المتطاير ($EI_{vPMmass-FuelOrganics}$)

٣-٩ تُحسب الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة من نسبة المحرك لدليل انبعاث الهيدروكربون المُبلغ عنه في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بحيث يكون المقام هو دليل انبعاث الهيدروكربون للمحرك CFM56-2-C5، وهي أقرب قيمة للمحرك المقيس خلال التجربة رقم ١ لانبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات. وتُضرب هذه النسبة في دليل انبعاث الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة المقيس من التجربة رقم ١ لانبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات للمحرك CFM56-2-C1. وترد القيم المقيسة في الجدول د-٣.

الجدول د-٣ — مؤشر الانبعاثات المتطاير المقيس (من المرجع ١)
المُستخدم لحساب الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة

طريقة الهبوط والإقلاع من النوع k	$EI_{vPMmass-orgCFM56,k}$ (ملجم/كجم وقود)
الإقلاع	4.6
الصعود	3.8
الاقتراب	4.5
الدوران البطيء	11.3

٤- حساب مؤشر انبعاثات الجسيمات الدقيقة

كتلة وعدد الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة

٤-١ يصف هذا القسم إجراء التقدير لدليل كتلة nvPMmass ودليل nvPMnumber عند مستوى فوهة محرك الطائرة لكل طريقة من طرق تشغيل المحرك.

٤-٢ توفر الخطوات من الأولى إلى الثالثة دليل $EInvPMmass_{e,k}$ (بالاستناد إلى رقم دخان لطريقة تشغيل معينة للمحرك، والرقم الدخاني SN_k)، أما الخطوة الرابعة فتوفر مؤشر الانبعاثات $EI_{nvPMnumber}$ (بالاستناد إلى $EI_{nvPMnumber}$).

تقدير مؤشر الانبعاثات EInvPMmass $\left(\frac{g}{kg\ fuel}\right)$ $\frac{g}{kgfuel}$

٤-٣ ثمة حاجة إلى المعلومات التالية من بنك EEDB: الأرقام الدخانية لكل محرك مشغل على النسق $K\ (SN_k)$؛ ومعلومات حول ما إذا كانت SNs الأرقام الدخانية هي من صلب المحرك (تصنيف بنك EEDB للمحرك "TF" يوازي رقم المحرك الدخاني المشغل على النسق k غير المختلط SN_k) أو المخفف مع الهواء الالتفافي (تصنيف بنك EEDB للمحرك "MTF" يوازي رقم المحرك الدخاني المشغل على النسق k المختلط مزيج SN_k)؛ ونسبة غاز الفتحات الجانبية للمحركات في حالة الأرقام الدخانية SN_k المختلطة.

٤-٤ **الخطوة الأولى:** انطلاقاً من رقم SN في وضع تشغيل المحرك على النسق k، يمكن العثور على تركيز الكتلة المقدرة nvPM في الأداة (C_k) من نظام القياس الموحد للايكاو باستخدام اربط في المعادلة د-٢.

$$C_k\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = \frac{648.4\ e^{0.0766 \cdot SN_k}}{1+e^{-1.098 \cdot (SN_k - 3.064)}} \cdot C_r \qquad \text{(المعادلة د-٢)}$$

مع

$$C_r = 1\ \frac{\mu g}{m^3}$$

٤-٥ **الخطوة الثانية:** تم العثور على nvPMmass EI مؤشر الانبعاثات ($EI_{nvPMmass,k}$) عند الأداة بضرب C_K مع حجم العادم المحدد (Q_K) (انظر المعادلة د-٣)، في حين يتم العثور على حجم العادم المحدد Q_K باستخدام المعادلة د-٤ مع قيمة اعتمادا على شكل عادم المحرك

(رقم دخان SN_k غير مختلط أو مختلط). وتتطلب المحركات ذات الفوهات المختلطة ("MTF" في بنك EEDB) تصحيحًا لنسبة غاز الفتحات الجانبية BPR. وبالتالي الرمز β يوازي نسبة BPR. أما بالنسبة لكافة المحركات الأخرى (مثل "TF" في البنك EEDB)، β فتوازي الصفر.

$$EI_{nvPMmass,k}\left(\frac{g}{kg\ fuel}\right) = C_k\left(\frac{\mu g}{m^3}\right)\cdot 10^{-6}\cdot Q_k\left(\frac{m^3}{kg\ fuel}\right)$$ المعادلة د-٣

$$Q_k = (0.777\cdot AFR_k\cdot(1+\beta)+0.767)\cdot Q_r$$ المعادلة د-٤

مع $Q_r = 1\ \frac{m^3}{kg\ fuel}$

ترد في الجدول د-٢ متوسط قيم نسبة الهواء إلى الوقود AFR_k.

٦-٤ **الخطوة الثالثة:** إن تركيز كتلة nvPMmass في الأداة (C_k) التي تحددها معادلة د-٢ هو دائما أقل مما كان عليه عند فوهة المحرك، وذلك بسبب خسائر الجسيمات في نظام أخذ العينات. وبالنسبة لقياسات الانبعاثات الغازية، فإن نظام أخذ العينات الضيق لمنع التسرب و الخالي من التفاعلات الكيميائية للأنواع الغازية سيحفظ العينة على موقع الجهاز، أما بالنسبة لقياسات الجسيمات، فسيفقد دائما جزء من الجسيمات – على سبيل المثال، في جدران نظام أخذ العينات. أما بالنسبة لقوائم الانبعاثات، فيطلب تسجيل أدلة الانبعاثات nvPMmass EIs لكل نسق تشغيل المحرك في مستوى فوهة المحرك ($EI_{nvPMmass,e,k}$)، وتتطلب تصحيحًا تقديريًا لخسائر الجسيمات ومعتمدًا على نسق تشغيل المحرك. وقد تم نقل خاصية خسارة الجسيمات التي تميز نظام الايكاو الموحد لأخذ عينات الجسيمات إلى معادلة د-٥.

أ) استخدام قيمة C_k المقدرة لحساب عامل تصحيح خسارة النظام المعتمد على نسق تشغيل المحرك لكتلة nvPMmass ($k_{slm,k}$) من المعادلة د-٥:

$$k_{slm,k} = \ln\left(\frac{3.219\cdot C_k\cdot(1+\beta)+312.5}{C_k\cdot(1+\beta)+42.6}\right)$$ المعادلة د-٥

ب) في نهاية المطاف، يتم حساب مؤشر الانبعاثات $EI_{nvPMmass,e,k}$ بضرب مؤشر الانبعاثات $EI_{nvPMmass,k}$ مع $k_{slm,k}$:

$$EI_{nvPMmass,e,k}\left(\frac{g}{kg\ fuel}\right) = k_{slm,k}\cdot EI_{nvPMmass,k}\left(\frac{g}{kg\ fuel}\right)$$ المعادلة د-٦

تقدير معدل انبعاثات $EI_{nvPMnumber,e,k}\left(\frac{\#}{kg\ fuel}\right)$

٧-٤ تقدير معدل انبعاثات $EI_{nvPMnumber,e,k}$، يتطلب أخذ معدل انبعاثات $EI_{nvPMmass,e,k}$ من المعادلة د-٦ ومن متوسط الأقطار الهندسية (GMD_k) حسب نسق تشغيل المحرك من الجسيمات nvPM بالجدول د-٤.

الجدول د -٤- القيم القياسية لمتوسط قطر هندسي للجسيمات غير المتطايرة أثناء التشغيل على النسق k (GMDk) المدرجة في قوائم الايكاو لضبط عيارات الدفع (نسق التشغيل k)

طريقة الهبوط والإقلاع على الطريقةk	GMD_k (nm)
الإقلاع	40
الصعود	40
الاقتراب	20
الدوران البطيء	20

٨-٤ **الخطوة الرابعة:** يتم العثور على مؤشر الانبعاثات nvPMnumber EI عند فوهة المحرك لنسق تشغيل واحد للمحرك k ($EI_{nvPMnumber,e,k}$) باستخدام المعادلة د-٧:

المعادلة د–٧

$$EI_{nvPMnumber,e,k}\left(\frac{\#}{kg\ fuel}\right) = \frac{6 \cdot EI_{nvPMmass,e,k}\left(\frac{g}{kg\ fuel}\right) \cdot N_r}{\pi \cdot \rho\left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot GMD_k{}^3(nm^3) \cdot e^{4.5(\ln(\sigma))^2}}$$

حيث يفترض أن توازي قيمة σ ١,٨ وهي تمثل الانحراف القياسي الهندسي من تشتت حجم الجسيمات غير المتطايرة. ρ يوازي ١٠٠٠ كجم/م^3 وهي القيمة المفترضة لمتوسط كثافة جسيمية من جسيمات nvPM. ومعامل قياس الوحدة هو $N_r = 10^{24} \frac{kg \cdot nm^3}{g \cdot m^3}$.

الجسيمات الدقيقة الكبريتية المتطايرة

٤-٩ يُحسب دليل انبعاث مادة الكبريتات الجسيمية من:

$$EI_{vPMmass-FSC}\left(\frac{mg}{kg}\right) = (10)^6 \left[\frac{(FSC)(\varepsilon)(MW_{out})}{MW_{Sulphur}}\right] \cdot S_r$$ المعادلة د-٨

حيث:

$MW_{out} = 96$ (SO_4^{-2}) و$MW_{Sulphur} = 32$ قيم محتويات الوقود من الكبريت وε يحددها المستعمل مع قيم بديلة كما حُدِّدت سابقاً، وإن قيمة S_r توازي معامل قياس الوحدة $1\frac{mg}{kg}\frac{mg}{kg}$.

الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة

٤-١٠ يُحسب مؤشر الانبعاثات للجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة من:

$$EI_{PMvolvPMmass-FuelOrganics,k} = \frac{EI_{vPM-orgCFM56,k}}{EI_{HCCFM56,k}}\left(EI_{HCEngine,k}\right) \text{ mg/kg}$$ المعادلة د-٩

حيث $EI_{HCCFM56}$ هو دليل انبعاث الهيدروكربون الإجمالي للايكاو بالنسبة للمحرك CFM56-2-C1. و$EI_{vPM-orgCFM56}$ هو دليل انبعاث المواد العضوية المتطايرة للتجربة رقم ١ لانبعاثات الجسيمات الدقيقة من الطائرات المقيس من الجدول د-٣، و$EI_{HCEngine,k}$ هو دليل انبعاث الهيدروكربون من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بالنسبة للمحرك موضوع النظر المشغل بالطريقة k (المحرك الذي يتم فيه تحديد مؤشر الانبعاثات). وتجدر ملاحظة ما يلي:

أ) وحدات $EI_{HCEngine}$ و$EI_{HCCFM56}$ هي جم/كجم من الوقود حسبما ترد في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات والإلغاء.

ب) نسبة $EI_{vPM-orgCFM56,k}$ و$EI_{HCCFM56,k}$ هي ثابتة لكل طريقة. ونظراً لأنه تتغيّر فقط القيمة حسب الطريقة لدليل انبعاث الهيدروكربون للمحرك موضوع النظر، يمكن وضع تبسيط للمعادلة د-١٠ يكون حسابه أسهل. وهذا ينتج عنه ما يلي:

$$EI_{vPM-FuelOrganics,k} = (\delta_k)\ (EI_{HCEngine,k}) \text{ mg/kg}$$ المعادلة د-١٠

حيث δ_k هي نسبة الثابت حسب الطريقة K. وترد قيم هذا الثابت في الجدول د-٥ لكل طريقة.

الجدول د-٥ — القيم حسب الطريقة لنسبة EIvPM–orgCFM566 و EIHCCFM56 في المعادلة د-١٠

طريقة الهبوط والإقلاع على النسق k	δ_k (ملجم/جم)
الإقلاع	115
الصعود	76
الاقتراب	56.25
الدوران البطيء	6.17

٥- مثال للحسابات

٥-١ يستند هذا المثال إلى حساب أدلة انبعاث الجسيمات الدقيقة بالنسبة إلى المحركات من السلسلة JT8D-217 ذات المعرّف الفريد لدى الايكاو 1PW018. وتقدَّم القيم المستنتجة لجميع الطرائق، في حين تبيَّن الحسابات الكاملة فقط بالنسبة للدوران البطيء نظراً لأن العملية

تكرَّر ببساطة للطرائق الأخرى باستخدام المتغيّرات الملائمة. وبالطبع لا تتغيّر الجسيمات الدقيقة للكبريت حسب درجة ضبط القدرة وهي نفسها لجميع الطرائق. وترد في الجدول د–٦ بيانات دليل انبعاث الهيدروكربون والرقم الدخاني لطريقة الدوران البطيء لهذا المحرك من بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات.

الجدول د–٦ — بيانات الايكاو للمحرك من السلسلة JT8D-217، طريقة الدوران البطيء

طريقة الهبوط والإقلاع	EI_{HC} (جم/كجم)	الرقم الدخاني
الإقلاع	0.28	13.2
الصعود	0.43	ناقص
الاقتراب	1.6	ناقص
الدوران البطيء	3.33	ناقص
القيمة القصوى	غير متوافرة	13.3

٢–٥ لملء قيمة الرقم الدخاني الناقصة بالنسبة لطريقة الدوران البطيء، يُستخدم عامل تدرّج قدره ٠,٣ من الجدول د–١ مناظر لـ "معظم المحركات غير المزوّدة بغرفة احتراق حلقية مزدوجة" ونسق الدوران البطيء (k).

$SN_{idle} = (0.3)(13.3) = 3.99$.

٣–٥ بافتراض محتوى وقود من الكبريت قدره ٠,٠٦٨ في المائة من الوزن (الكسر ٠,٠٠٠٦٨) ومعدل تحويل من S^{IV} إلى S^{VI} بنسبة ٢,٤ في المائة من الوزن (الكسر ٠,٠٢٤)، يُحسب مؤشر الانبعاثات لمادة السلفات الجسيمية المتطايرة بسبب كبريت الوقود كما يلي:

$$EI_{vPMmass-FSC,idle} = (10^6)\left[\frac{(0.00068)(0.024)(96)}{32}\right] = 49.0 \text{ mg/kg or } 0.049 \text{ g/kg}$$

٤–٥ يجوز حساب مؤشر الانبعاثات لكتلة الجسيمات الدقيقة العضوية المتطايرة EI_{vPM} باستخدام القيم الواردة في الجدول د–٣ والجدول د–٥ ودليل انبعاث الهيدروكربون للمحرك المحدد المُدرج بالقائمة في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات المناظر لطريقة الدوران البطيء:

$$EI_{vPMmass-FuelOrganics,idle} = \frac{11.3}{1.83}(3.33) = 20.6 \text{ mg/kg or } 0.021 \text{ g/kg}.$$

٥–٥ عوضاً عن ذلك، يجوز ضرب القيم الواردة في الجدول د–٥ في دليل انبعاث الهيدروكربون للمحرك المحدد كما هو مدرَج بالقائمة في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات بوصف ذلك ما يلي:

$$EI_{vPMmass-FuelOrganics,idle} = (6.17)(3.33) = 20.5 \text{ mg/kg}$$

٦–٥ إن المحرك JT8D-217 هو من المحركات التدفق المختلط بنسبة غاز الفتحات الجانبية تبلغ ١,٧٣، وكان لا بد من مراعاته لتقدير كتلة الجسيمات غير المتطايرة وأدلة الانبعاثات من حيث كتلة nvPM وعددها. وباختصار، إن نتائج مثال الحساب لتطبيق الأسلوب FOA4.0 بالنسبة لكتلة nvPM وعددها على طريقة الدوران البطيء للمحرك من السلسلة JTBD-217 هي التالية:

$EI_{nvPMmass,e,idle} = 0.181 \text{ g/kg} = 181 \text{ mg/kg}$

$EI_{nvPMnumber,e,idle} = 9.2\ 10^{15} \#/\text{kg}$.

٧–٥ من ثم فإن مؤشر الانبعاثات الإجمالي لجميع مكوّنات انبعاثات الجسيمات الدقيقة هو التالي:

$EI_{tPMmass,idle} = 181 + 49 + 21 = 251 \text{ mg/kg of fuel or } 0.251 \text{ g/kg of fuel burn}$

٥-٨ في حين أن دليل انبعاث الكبريت لا يتغيّر حسب ضبط القدرة، يجب حساب أدلة الانبعاث الأخرى لكل تشغيل على النسق k. ويبيّن الجدول د-٧ النتائج بالنسبة لجميع الطرائق. ومن الجدير بالملاحظة أن الرقم الدخاني الأقصى استُخدم لتقديرات دليل انبعاث الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة.

الجدول د-٧ — قيم دليل انبعاث الجسيمات الدقيقة للمحرك من السلسلة JT8D-217 (ملجم/كجم من الوقود و#/كجم من الوقود)

ضبط القدرة الذي حددته الايكاو (النسق)	$EI_{nvPMmass,e,k}$	$EI_{vPMmass-FSC,k}$	$EI_{vPMmass-FuelOrganics,k}$	Total EI_{PMmass} by mode k	$EI_{nvPMnumber.e.k}$
الدوران البطيء	181	49.0	21	251	$9.2 \cdot 10^{15}$
الاقتراب	142	49.0	90	281	$7.2 \cdot 10^{15}$
الصعود	212	49.0	33	294	$1.3 \cdot 10^{15}$
الإقلاع	207	49.0	32	288	$1.3 \cdot 10^{15}$

٦- الجوانب غير المؤكدة

٦-١ الأسلوب FOA4.0، حسبما يوحي به عنوانه، هو تقريب. وقد سعى الفريق المخصص المعني بالجسيمات الدقيقة التابع للفريق العامل الثالث للجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران إلى جعل المنهجية دقيقة بقدر الإمكان. غير أنه ينبغي أن يكون المستعمل على علم بأنه ليس جميع المفاهيم الفيزيائية مفهومة تماماً وبأن البيانات للعديد من البارامترات ضئيلة. ويؤدي هذا إلى جوانب غير مؤكدة في تقدير المنهجية بما في ذلك ما يلي:

أ) الافتقار إلى البيانات في بنك الايكاو لبيانات انبعاثات المحركات، وخاصة ما يلي:

١) SN_k الرقم الدخاني لمحرك يعمل على المنوال k.

ب) الاعتماد على قيم متوسطة لما يلي بالنسبة للمحرك المحدَّد:

١) نسبة الهواء إلى الوقود.

٢) محتوى الوقود من الكبريت.

٣) عامل التحويل من S^{IV} إلى S^{VI}.

٤) تكنولوجيا غرفة الاحتراق، وسلوك المحرك الفردي لتشكيل الجسيمات.

ج) البيانات المحدودة للغاية بشأن المواد العضوية المتطايرة والافتقار إلى اصطلاحات القياس المعتمدة.

د) عدم وجود معلومات عن تأثير مزلّقات المحركات.

هـ) جوانب عدم الدقة واختلافات القياس في البيانات المُبلغ عنها:

١) يبيّن الملحق السادس عشر أن أرقام الدخان المقيسة يمكن أن تتفاوت بواقع 3±؛

٢) يمكن أن يؤدي انخفاض قيمة الرقم الدخاني SNs كمدخل في صيغ التقدير إلى تنبؤات غير دقيقة جدًا لكتلة nvPMmass ، وفي المقابل، لعدد nvPMnumber.

و) يجب توقع ظهور عدد كبير من الجوانب غير المؤكدة في تصحيح خسارة الجسيمات، أي عند التحويل من القيم المقدرة على مستوى أداة القياس إلى القيم المقدرة في مستوى فوهة المحرك. ويمسي التحديد الكمي لما يسمى تصحيح خسارة الجسيمات على مستوى النظام صعباً للغاية ولا يمكن أن يستمد إلا من النماذج المادية.

ز) افتراضات لقيم متوسط الأقطار الهندسية GMDs لجسيمات nvPM، وكثافة الجسيمات الفعلية وتوزيع حجم الجسيمات.

٦-٢ يعالج صانعو المحركات حدود بنك بيانات انبعاثات المحركات من خلال الفريق العامل الثالث للجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران. ومن المستبعد أن تتوافر قيم نسبة الهواء إلى الوقود في المحركات وغيرها من البارامترات المتعلقة بالاحتراق لأنواع المحركات الفردية لأنها حساسة تجارياً. وسيأتي المزيد من الثقة في عامل التحويل من S^{IV} إلى S^{VI} والمواد العضوية المتطايرة وتأثير مزلّقات المحركات مع المزيد من القياسات التجريبية وتقنيات القياس المحسّنة.

٦-٣ قد تختلف الجسيمات nvPM (من حيث الكتلة والعدد) التقديرية من ٥٠ في المائة إلى ١٢٥ في المائة بالنسبة لمعظم المحركات وربما أكثر بكثير (ترتيب الحجم) من القيم المقيسة. وينبغي دائماً استخدام بيانات ترخيص nvPM الخاصة بالمحرك في عمليات الجرد، عند توافرها، بسبب عدم دقة منهجية التقدير. وتقدم هذه الطرق لتقدير انبعاثات PM على نطاق الأسطول في المطارات. واستنادا إلى الفقرة ٦-١ أعلاه، لا تكون الطرق مناسبة لتقييم انبعاثات PM من المحركات الفردية، لأغراض مقارنات المحركات أو طرق تشغيل المحرك الفردية.

٦-٤ منذ بداية عملية التقريب من الدرجة الأولى وتطويرها إلى الصيغة الثالثة والرابعة للتقريب من الدرجة الأولى، استمرت المنهجية في التطوّر وتحسّنت دقة تقدير الجسيمات nvPM. وعملية التقريب من الدرجة الأولى ليست جامدة وستستمر في التطوّر بينما بيانات القياس لغرض الترخيص لجسيمات nvPM متاحة للجمهور. وبالنسبة لبعض المحركات التي سحبت من الإنتاج قبل عام ٢٠٢٠ ولحسابات انبعاثات الجسيمات PM المتطايرة، ستظل الحاجة إلى طرق تقدير قائمة. وفي هذه الأثناء، ستواصل اللجنة المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران استعراض المعلومات المتوافرة لتحسين المنهجية وبارامترات المدخلات قدر الإمكان.

الإضافة (هـ) للمرفق ١

قائمة المراجع

Agarwal, A. et al., "SCOPE11 Method for Estimating Aircraft Black Carbon Mass and Particle Number Emissions," Environmental Science & Technology, 2019, DOI: 10.1021/acs.est.8b04060.

Coordinating Research Council, Inc., Handbook of Aviation Fuel Properties, Third Edition, CRC Report No. 635, Alpharetta, GA, USA, 2004.

Federal Aviation Administration, Technical Data to Support FAA Advisory Circular on Reducing Emissions from Commercial Aviation,1995.

Hagen, D.E. et al., "Particle emissions in the exhaust plume from commercial jet aircraft under cruise conditions," Journal of Geophysical Research, 101(D14), 1996, pp. 19551–19557.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Aviation and the Global Atmosphere, Cambridge University Press, 1999, ISBN 0 521 66404 7.

Kärcher, B. et al., "Particles and Cirrus Clouds (PAZI): Overview of results 2000–2003," R. Sausen and G.T. Amanatidis (eds.), in Proceed. European Workshop Aviation, Aerosols and Climate, Air Pollution Research Report No. 83, Commission of the European Communities, pp. 197–206.

NARSTO, Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment, P. McMurry, M. Shepherd, and J. Vickery (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, England, 2004, ISBN 0 52 184287 5.

National Research Council, Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, Research Priorities for Airborne Particulate Matter: I. Immediate Priorities and a Long-Range Research Portfolio, 1988,
https://www.nap.edu/catalog/6131/research-priorities-for-airborne-particulate-matter-i-immediate-priorities-and (accessed June 2020).

National Research Council, Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, Research Priorities for Airborne Particulate Matter: IV. Continuing Research Progress, 2004, http://www.nap.edu/catalog/10957.html (accessed June 2020).

Petzold, A., and F.P. Schröder, "Jet engine exhaust aerosol characterization," Aerosol Science Technology, 28, 1998, pp. 62–76.

Petzold, A. et al., "Near-field measurements on contrail properties from fuels with different sulphur content," Journal of Geophysical Research, 102 (D25), 1997, pp. 29867–29880.

Petzold, A. et al., "Particle emissions from aircraft engines — a survey of the European project PartEmis," Meterologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 4, 2005, pp. 465–476.

SAE AIR5715, Procedure for the Calculation of Aircraft Emissions, 2009, https://www.sae.org/standards/content/air5715/ (accessed June 2020).

Schumann, U. et al., “In situ observations of particles in jet aircraft exhausts and contrails for different sulphur-containing fuels,” Journal of Geophysical Research, 101(D3), 1996, pp. 6853–6869.

Schumann, U. et al., “Influence of fuel sulfur on the composition of aircraft exhaust plumes: The experiments SULPHUR 1-7,” Journal of Geophysical Research, 107 (10.1029/2001JD000813), 2002, pp. AAC 2-1–AAC 2-27.

Whitefield, P.D. et al., NASA/QinetiQ Collaborative Program — Final Report, NASA TM-2002-211900 and ARL-CR-0508, NASA, Washington, D.C., USA, 2002,193 pp.

أمثلة لنظم وضع النماذج

تتضمن القائمة التالية أمثلة لنظم وضع النماذج لدراسات نوعية هواء المطارات المحلي. وهذه القائمة ليست كاملة ولا توجيهية.

الاسم والصيغة	*التوافر*	*الموقع على الانترنت*
ADMS	تطبيق، متوافر للجمهور	www.cerc.co.uk
ALAQS- شبكة مفتوحة	تطبيق، متوافر من خلال يوروكنترول	www.eurocontrol.int
AEDT و EDMS 5.1	تطبيق، متوافر للجمهور	www.faa.gov
LASPORT 2.3	تطبيق، متوافر للجمهور	www.janicke.de

المرفق ٢ بالفصل الثالث

انبعاثات الخدمات الأرضية للطائرات

١- مقدمة

١-١ الخدمات الأرضية للطائرات خلال الاستدارة للعودة إلى التشغيل أو للصيانة هي مصدر هام للانبعاثات المتعلقة بالمطارات. ويتوقف نوع وعدد المركبات والمعدات المستخدمة للخدمات الأرضية على عوامل عديدة تشمل حجم الطائرة وطرازها وخصائص موقف الطائرات ونسقه والخواص التكنولوجية والتشغيلية لمعدات الخدمات الأرضية. ويوجد نوعان عامان من الانبعاثات يشتملان على أربعة مصادر متميزة في هذه الفئة، أي: أ) معدات المساندة الأرضية وانبعاثات مركبات منطقة التحركات المراقبة (انبعاثات عادم المحركات) و ب) تزويد الطائرات بالوقود وإزالة الجليد عن الطائرات (الانبعاثات التبخرية للمركبات العضوية المتطايرة):

أ) ***انبعاثات العادم***

١) *معدات المساندة الأرضية* — الانبعاثات من المركبات والآلات المستعملة لخدمة الطائرات على الأرض في موقف الطائرات أو منطقة الصيانة.

٢) *مركبات منطقة التحركات المراقبة* — مركبات وآلات الخدمة التي تعمل على طرق الخدمة داخل ممتلكات المطار (غير معدات المساندة الأرضية).

ب) ***الانبعاثات التبخرية***

١) *تزويد الطائرات بالوقود* — الانبعاثات التبخرية للمركّبات العضوية المتطايرة خلال تزويد الطائرات بالوقود.

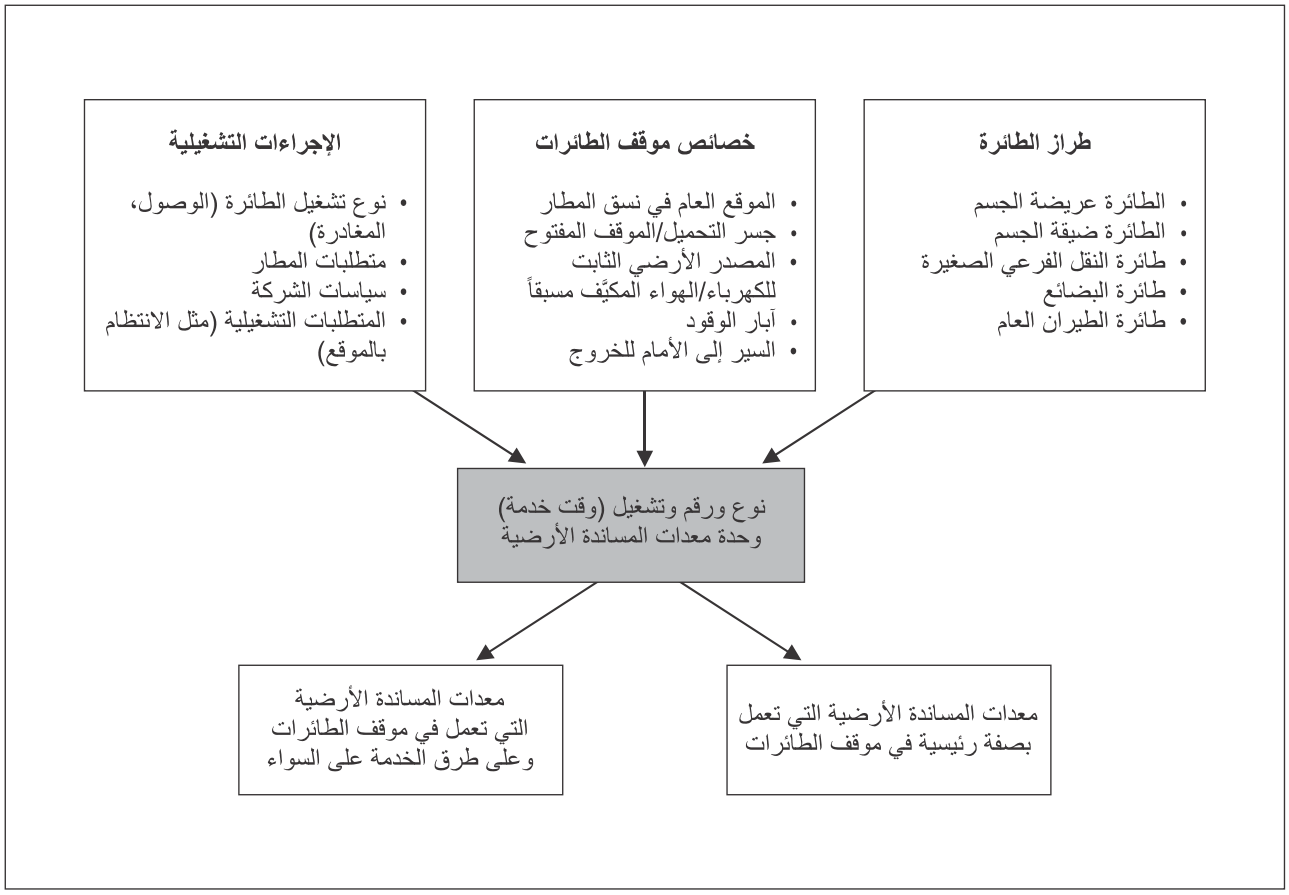
٢) *إزالة الجليد عن الطائرات* — الانبعاثات التبخرية للمركّبات العضوية المتطايرة خلال إزالة الجليد عن الطائرات (عند الانطباق).

١-٢ يرد في المرفق ٣ بالفصل الثالث بيان انبعاثات التزويد بالوقود عن طريق المركبات ومستودعات الوقود وإزالة الجليد على السطح.

٢- انبعاثات معدات المساندة الأرضية

العمليات

٢-١ يتوقف تشغيل معدات المساندة الأرضية على عدة بارامترات يمكن أن تتفاوت تفاوتاً كبيراً من مطار إلى آخر (انظر الشكل ٣-أ٢-١). غير أنه، من حيث التقسيم المكاني والزماني، يمكن أن تكون انبعاثات معدات المساندة الأرضية متصلة بعمليات الطائرات.



الشكل ٣-أ٢-١ — تحديد خصائص عمليات معدات المساندة الأرضية

٢-٢ المعدات المساندة الأرضية هي مركبات "خارج الطريق" صُمِّمت خصيصاً لتقديم خدمات مطلوبة للطائرات (مثل شاحنات البضائع، السيور الناقلة للأمتعة، جرارات الطائرات). وهي معدة من أجل المهام ذات عزم الدوران العالي والسرعة المنخفضة ومصنوعة لمعالجتها في أماكن ضيقة حول الطائرات المنتظرة في الموقف. وقد تتحرّك عبر المطار، ولكنها عادة ما تخدم عدداً محدوداً من الأماكن المحددة. وعادة ما تزوّدها بالقدرة محركات احتراق داخلي من أنواع مختلفة، ولكن تُستخدم أحياناً تكنولوجيات أخرى. بيد أن بعض وحدات معدات المساندة الأرضية تعمل في موقف الطائرات لبعض الوقت ثم تستخدم طرق الخدمة للعودة إلى تجهيزات محددة (مثل شاحنات التموين، شاحنات خدمة دورات المياه، جرارات الأمتعة). وقد تكون أيضاً مزودة بمحركات مرخّصة للتشغيل على الطريق. وترد في الجدول ٣-أ٢-١ قائمة بأكثر معدات المساندة الأرضية استخداماً لتقديم خدمات المساندة الأرضية إلى الطائرات مع القيم البديلة المقترحة للمحركات وأوقات الخدمة.

الجدول ٣-أ٢-١ — معدات المساندة الأرضية النموذجية

معدات المساندة الأرضية	الوظيفة	نوع المحرك/المعدات	وقت الخدمة لكل نوبة	تعليقات
وحدة الطاقة الأرضية	توفّر الطاقة الكهربائية للطائرة	١٠٠–١٥٠ كيلوواط ديزل أو غاسولين؛ ١٥٪–٥٠٪ من الحمولة	يتوقف على الجدول الزمني	قد تكون الشبكة الكهربائية مدمجة في البوابة/الجسر
وحدة تكييف الهواء/التدفئة	توفّر الهواء المكيّف مسبقاً و/أو الحرارة للطائرة	١٥٠ كيلوواط ديزل أو غاسولين؛ ٥٠٪ من الحمولة	يتوقف على الجدول الزمني والأحوال الجوية	قد يكون الهواء المكيّف مسبقاً بالكهرباء مدمجاً في البوابة/الجسر
وحدة بدء التشغيل بالهواء	توفّر انسياب الهواء بضغط عال لبدء تشغيل المحركات الرئيسية	١٥٠ كيلوواط ديزل؛ ٩٠٪ من الحمولة	٣–٥ دقائق	عموماً لا تُستخدم إذا كانت الطائرة مزوّدة بوحدة طاقة إضافية على متنها
جرّار الدفع للخارج ضيّق الجسم	الدفع للخلف والجرّ للصيانة	٩٥ كيلوواط ديزل؛ ٢٥٪ من الحمولة	٥–١٠ دقائق	تتوافر وحدات تعمل بالطاقة الكهربائية
جرار الدفع للخارج عريض الجسم	الدفع للخلف والجر للصيانة	٤٠٠ كيلوواط ديزل؛ ٢٥٪ من الحمولة	٥–١٠ دقائق	
سلالم الركاب	تتيح الوصول بسهولة إلى ساحة وقوف الطائرات	٣٠–٦٥ كيلوواط ديزل أو غاسولين؛ ٢٥٪ من الحمولة	٢–١٠ دقائق	تتوافر سلالم لا تعمل بالطاقة ووحدات كهربائية
سيور الحقائب	تنقل الحقائب بين العربات والطائرة	٣٣ كيلوواط ديزل أو غاسولين أو غاز طبيعي مضغوط؛ ٢٥٪ من الحمولة	١٠–٥٠ دقيقة	تتوافر وحدات كهربائية
السيارة القاطرة	تجرّ العربات المحمّلة لتبادل الأمتعة	٣٠ كيلوواط ديزل أو غاز طبيعي مضغوط أو غاسولين؛ ٥٠٪ من الحمولة	١٠–٥٠ دقيقة	تتوافر وحدات كهربائية
شاحنة البضائع والحاويات	ترفع البضائع الثقيلة والحاويات للمساعدة على نقلها	٦٠ كيلوواط ديزل أو غاسولين مع أجهزة رفع؛ ٢٥٪ من الحمولة	١٠–٥٠ دقيقة	أنواع مختلفة
تسليم البضائع	تنقل البضائع من الدروجات إلى الشاحنة	٣٠ كيلوواط ديزل أو غاسولين؛ ٢٥٪ من الحمولة	١٠–٥٠ دقيقة	أنواع مختلفة
شاحنة جرّارة بدون مقطورة	خدمات الجرّ والخدمات الثقيلة المختلفة	٩٠ كيلوواط شاحنة ديزل؛ ٢٥٪ من الحمولة	متفاوت	متفاوتة للغاية
شاحنة التموين والخدمة	تنظّف الأطعمة والمؤن وتعيد تخزينها	٨٥–١٣٠ كيلوواط ديزل مع رافعة بمقصات؛ ١٠–٢٥٪ من الحمولة	١٠–٣٠ دقيقة	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
شاحنة خدمة دورات المياه، شاحنة مياه الشرب	تفرغ مخزون دورات مياه الطائرة، تعيد ملء خزانات المياه بالطائرة	١٢٠ كيلوواط ديزل مع خزان ومضخات؛ ٢٥٪ من الحمولة	٥–٢٠ دقيقة	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
شاحنة خرطوم الوقود	تضخ الوقود من الآبار إلى الطائرات	٧٠–١١٠ كيلوواط ديزل مع مضخات؛ ١٠–٥٠٪ من الحمولة	١٠–٤٠ دقيقة	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
شاحنة الوقود	تضخ الوقود من الشاحنة إلى الطائرة	٢٠٠ كيلوواط ديزل مع مضخات؛ ١٠–٥٠٪ من الحمولة	١٠–٤٠ دقيقة	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
عربة إزالة الجليد	ترشّ سائل إزالة الجليد على الطائرة قبل مغادرتها	١٨٠ كيلوواط ديزل مع خزان، مضخات، مرشّات؛ ١٠–٦٠٪ من الحمولة	٥–١٥ دقيقة	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
رافعة الصيانة	تتيح الوصول إلى الجزء الخارجي من الطائرة	٧٠–١٢٠ كيلوواط ديزل أو غاز طبيعي مضغوط أو غاسولين؛ ٢٥٪ من الحمولة	متفاوت، قليلة الاستخدام	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
حافلات نقل الركاب	تنقل الركاب إلى الطائرة ومنها	١٠٠ كيلوواط ديزل أو غاز طبيعي مضغوط أو غاسولين؛ ٢٥٪ من الحمولة	متفاوت (المسافة بدلاً من الوقت)	قد تستخدم محركات مرخّصة للتشغيل على الطريق
رافعة شوكية	ترفع وتحمل الأشياء الثقيلة	٣٠–١٠٠ كيلوواط ديزل؛ ٢٥٪ من الحمولة	متفاوت للغاية	تتوافر وحدات كهربائية، يتعلق استخدامها في معظم الأحيان بالبضائع
مركبات متنوعة (سيارات، عربات، شاحنات)	خدمات متنوعة	٥٠–١٥٠ كيلوواط ديزل أو غاز طبيعي مضغوط أو غاسولين؛ ١٠–٢٥٪ من الحمولة	متفاوت للغاية (المسافة بدلاً من الوقت)	عادة ما تعمل بمحركات مرخّصة للتشغيل على الطريق

٢-٣ حسبما هو مبيّن في الجدول ٣-أ٢-٢، فإن حجم الطائرة يؤثر أحياناً على تخصيص الموقف وكثيراً ما يؤثر على إجراءات الخدمة الأرضية التي تشمل معدات المساندة الأرضية (مثل عددها وأنواعها ووقت تشغيلها).

الجدول ٣-أ٢-٢ — تحديد خصائص مجموعات الطائرات

مجموعة الطائرات	تحديد الخصائص
الطائرات عريضة الجسم	تُشحن أمتعة الركاب مسبقاً في حاويات حجم كبير للبضائع من المطلوب سلالم للركاب مع حافلات أو جسور للصعود إلى الطائرة يمكن أن يشمل وقت الاستدارة للعودة تحريك الطائرة (الوقوف النهاري)
الطائرات ضيقة الجسم	تُشحن أمتعة الركاب سائبة (أي بدون وضعها في حاوية) حجم صغير للبضائع من المطلوب سلالم للركاب مع حافلات أو جسور للصعود إلى الطائرة أوقات قصيرة للاستدارة للعودة
طائرات النقل الفرعي	أمتعة الركاب مفتوحة تنقل بعض البضائع (حجم صغير للغاية) أوقات قصيرة للاستدارة للعودة سلالم الركاب مدمجة في الطائرة
طائرات البضائع	لا توجد احتياجات "للراحة" (حافلات، أمتعة، تكييف هواء) معدات ومركبات متخصصة لمناولة البضائع
طائرات الطيران العام	لا توجد أمتعة أو بضائع أو سلالم أنشطة مناولة محدودة

٢-٤ في معظم المطارات، يمكن أن يوجد النوعان التاليان من مواقف الطائرات:

أ) المواقف الجسرية حيث يصل جسر صعود الركاب الطائرة بالمبنى.

ب) المواقف البعيدة/المفتوحة حيث يتم إيقاف الطائرة دون أن تمس الموصلات بالمبنى مباشرة (من أجل عمليات الركاب و/أو البضائع).

٢-٥ يمكن أن تبدي المواقف أنفسها اختلافات كبيرة من حيث الموقع والمعدات الفنية المتوافرة تؤثر على عدد وعمليات معدات المساندة الأرضية ومن ثم على الانبعاثات من هذا المصدر (أنظر الجدول ٣-أ٢-٣). وقد تختلف المواقف أيضاً لأسباب الاستخدام المكرّسة له (مثلاً ما إذا كان الموقف يُستخدم لطائرات البضائع أم لطائرات الركاب).

الجدول ٣-أ٢-٣ — خواص مواقف الطائرات

خواص الموقف	معدات المساندة الأرضية والنتائج التشغيلية	ملاحظات
موقف مجهّز بجسر لصعود الركاب	لا تتطلب الطائرة سلالم للركاب	قد يتطلب الهواء المكيّف مسبقاً و/أو التدفئة و/أو وحدة طاقة أرضية
موقف مجهز بـ ٤٠٠ هيرتز ثابتة	لا تتطلب الطائرة وحدة طاقة أرضية قد تحتاج الطائرة إلى وحدة لتكييف الهواء	
مجهز بصورة إضافية بالهواء المكيّف مسبقاً (الثابت) أو من خلال وحدة تكييف الهواء للطائرة	لا تتطلب الطائرة وحدة طاقة أرضية أو وحدة تكييف هواء	ثابت فقط إلى جانب ٤٠٠ هيرتز
موقف مجهّز بخط أنابيب للكيروسين	لا تتطلب الطائرة تزويدها بالوقود عن طريق شاحنة وقود	تتطلب الطائرة شاحنة خرطوم الوقود
النسق السليم لبدء الطائرة السير بقدرتها الذاتية	لا تتطلب الطائرة جرّاراً لدفعها إلى الخلف	غير ممكن على المواقف ذات الجسر

٢-٦ تحدّد الإجراءات التشغيلية أيضاً أنواع وكميات خدمات معدات المساندة الأرضية المطلوبة، المبيّنة على النحو التالي:

أ) يختلف نوع معدات المساندة الأرضية المستخدمة اختلافاً كبيراً حسب التطبيقات. وعلى سبيل المثال، من المطلوب أنواع معدات مساندة أرضية لخدمة الطائرات بعد الهبوط مختلفة عن المعدات التي تُستخدم قبل المغادرة ولخدمة عمليات الركاب والبضائع.

ب) الأنظمة الحكومية (مثل السلامة، المتطلبات التشغيلية) ومتطلبات مشغّل المطار (مثل الإجراءات أو القيود للمطار المحدد) قد تحدّ من أو تمنع استخدام معدات مساندة أرضية معيّنة.

ج) قد يتبع مشغّل شركة الطيران، بالتعاون مع وكيل المناولة، إجراءات محددة تؤثر على انبعاثات معدات المساندة الأرضية.

د) يمكن أن يؤثر الهيكل الأساسي للمطار على جدوى أنواع الوقود البديلة أو العوامل الأخرى التي يمكن أن تؤثر على الانبعاثات.

هـ) قد يكون أيضاً نسق موقف المطار ومرونته في العمليات أحد العوامل (نقل معدات المساندة الأرضية من موقف إلى موقف أو إلى مواقف بعيدة خلال العمليات).

٢-٧ يمكن الحصول على البيانات التشغيلية بطرق مختلفة (مثلاً بصورة تصاعدية، عن طريق تقييم قطع منفردة من معدات المساندة الأرضية، أو بصورة تنازلية، عن طريق استخدام أوقات التشغيل العالمية أو استهلاك الوقود بحيث يشمل ذلك جميع قطع معدات المساندة الأرضية). ويوفّر كل بديل مزايا وسيتوقف الاختيار من بينها على عوامل مثل غرض وتصميم حصر الانبعاثات وتوافر البيانات ودقتها. ويمكن أن تشمل البيانات التشغيلية ما يلي:

أ) حرق الوقود الإجمالي بواسطة جميع معدات المساندة الأرضية (حسب أنواع الوقود المختلفة).

ب) ساعات التشغيل الإجمالية لكل نوع من معدات المساندة الأرضية وعدد الوحدات من كل نوع (مرة أخرى، مع التمييز حسب نوع الوقود).

ج) وقت تشغيل كل وحدة معدات مساندة أرضية لعمليات الطائرات المحددة أو المنفردة (مثل الهبوط والإقلاع بصفة عامة أو الوصول والمغادرة كل على حدة). وقد تُدرج أيضاً المعلومات المكانية والزمانية. ودقة وقت خدمة معدات المساندة الأرضية في هذه الحالة هامة للغاية لأنه حتى أصغر الانحرافات يمكن أن تنجم عنها أخطاء كبيرة. وعلى سبيل المثال، إذا استُخدم

جرار طائرات لمدة ٨ دقائق للدورة (بدلاً عن ٦ دقائق) وكانت دورات المناولة ٠٠٠ ٢٥، سيكون الخطأ ٨٤٣ ساعة تشغيل.

عوامل الانبعاث

٢-٨ عوامل الانبعاث بالنسبة لمعدات المساندة الأرضية غير متماثلة بالنسبة لجميع أقاليم العالم. وعلى نحو يتوقف على المعايير الإقليمية أو الوطنية أو المتطلبات التشغيلية المحلية، قد يكون نفس النوع من المعدات مجهّزاً بمحركات مختلفة (مثل الحجم والتكنولوجيا). ويتم أيضاً في كثير من الأحيان الإبلاغ عن عوامل الانبعاث كعوامل انبعاث مركبات خارج الطريق أو آلات متحركة لغير الطريق. وهي تعتمد على نوع الوقود وحجم المحرك وعامل الشحنة والتكنولوجيا والعمر (أو عامل التدهور) ووسائل خفض الانبعاثات الأخرى. ويوصى بأن يحصل المحللون على بيانات بشأن الصناعة المحددة أولاً أو التحقق لدى السلطات المختصة بالنسبة لعوامل الانبعاث المتوافرة الأخرى إذا لم تكن متوافرة بصورة أخرى.

حساب الانبعاثات

٢-٩ يمكن حساب انبعاثات معدات المساندة الأرضية باتباع أي من النهجين البسيطين التاليين، وكذلك النهجين المتقدم والمتطوّر.

النهج البسيط الأولي

٢-١٠ يمكن، بأسلوب بسيط للغاية باستخدام النهج القائم على الطائرة، حساب الانبعاثات باستخدام عدد عمليات وصول الطائرات ومغادرتها، أو كل من نوعي العمليات، وعوامل الانبعاث البديلة. وبهذا النهج، ليس من الضروري تحليل أسطول معدات المساندة الأرضية وتشغيل معدات المساندة الأرضية. وترد في الجدول ٣-أ٢-٤ أمثلة لعوامل انبعاث تمثّل مطار زيوريخ في سويسرا يمكن استخدامها لهذا النهج. ولأن معدات الخدمة الأرضية للطائرات تختلف حسب الدولة والمطار ومشغّل الطائرة، ينبغي إجراء تحليل باستخدام عوامل الانبعاث الملائمة لأسطول معدات المساندة الأرضية قيد التقييم.

الجدول ٣-أ٢-٤ — مثال لعوامل الانبعاث البديلة
يمثّل مطار زيوريخ بالنسبة للخدمة الأرضية للطائرات[1]

		تكنولوجيا معدات المساندة الأرضية ١٩٩٠-٢٠٠٥		تكنولوجيا معدات المساندة الأرضية ٢٠٠٠-٢٠١٥	
الملوّث	الوحدة	الطائرة ضيّقة الجسم (الطائرة النفاثة ثابتة الجناحين ذات الممر الواحد)	الطائرة عريضة الجسم (الطائرة النفاثة ثابتة الجناحين ذات الممرّين)	الطائرة ضيّقة الجسم (الطائرة النفاثة ثابتة الجناحين ذات الممر الواحد	الطائرة عريضة الجسم (الطائرة النفاثة ثابتة الجناحين ذات الممرّين)
أكاسيد النيتروجين	كجم/دورة	0.400	0.900	0.260	0.510
الهيدروكربون	كجم/دورة	0.040	0.070	0.020	0.045
أول أكسيد الكربون	كجم/دورة	0.150	0.300	0.100	0.225
الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات	كجم/دورة	0.025	0.055	0.015	0.030
nvPM الجسيمات الدقيقة غير المتطايرة	العدد/ دورة	n/a	n/a	4.0E+13	1.1E+14
ثاني أكسيد الكربون	كجم/دورة	18	58	20	48

١ الوثيقة (Flughafen Zürich AG) للعامين ٢٠٠٦ و٢٠١٤، تحديث جزئي في عام ٢٠١٧ (يشـــمل مزيجا من الوقود من البنزين والديزل والغاز الطبيعي المضغوط والكهرباء

٢-١١ لهذا التطبيق، تُحسب الانبعاثات بضرب عدد الحركات (حسب فئة الطائرة أو المجموع إذا لم تتوافر التفرقة) في عامل الانبعاثات المعني (أو متوسط كلا العاملين إذا لم تتوافر التفرقة بين الطائرات).

٢-١٢ على سبيل المثال، بمطار فيه ٤٥٠ ٢٣ حركة طائرة ضيّقة الجسم و٦٠٠ ٩ حركة طائرة عريضة الجسم وعوامل انبعاث أكاسيد النيتروجين المفترضة ٠,٤ كجم/دورة و٠,٩ كجم/دورة، فإن المقدار الإجمالي لأكاسيد النيتروجين هو:

$$0.4\ kg/cycle * (23\ 450\ movements)\ [narrow\text{-}body] + 0.9\ kg/cycle * (9\ 600\ movements)\ [wide\text{-}body] = 9\ 010\ kg\ NO_x$$

النهج البسيط الثانوي

٢-١٣ يتضمن أسلوب بديل، أبسط، استخدام معدات المساندة الأرضية للوقود. وفي هذا النهج، تُحسب الانبعاثات بالحصول على بيانات استخدام الوقود الفعلية لمعدات المساندة الأرضية (أو تقدير مثل هذه البيانات) ثم الجمع بين هذه البيانات وبين عوامل الانبعاث المتوسطة، بصورة مستقلة عن عدد المعدات أو حجمها أو التكنولوجيا. وترد في الجدول ٣-أ٢-٥ أمثلة لعوامل انبعاث تمثّل أوروبا يمكن استخدامها لهذا النهج. ولأن معدات الخدمة الأرضية للطائرات تختلف حسب الدولة والمطار ومشغّل الطائرة، ينبغي إجراء تحليل باستخدام عوامل انبعاث ملائمة لأسطول معدات المساندة الأرضية قيد التقييم.

$$Emission_{Pollutant}\ [g] = \Sigma_{fuel\ types}\ (total\ fuel\ type\ used\ [kg] \times average\ emission\ factor\ [g/kg\ fuel\ type]$$ المعادلة ٣-أ٢-١

الجدول ٣-أ٢-٥ — مثال عوامل انبعاث أوروبية للخدمة الأرضية للطائرات[٢]

الملوِّث	ديزل (جم/كجم)	غاسولين (جم/كجم)
أكاسيد النيتروجين	32.8	7.1
الهيدروكربون	3.4	17.6
أول أكسيد الكربون	10.7	770.4
الجسيمات الدقيقة	2.1	0.1
ثاني أكسيد الكربون	3160	3197

٢-١٤ على سبيل المثال: إذا كانت الكمية الإجمالية من وقود الديزل المستخدم لمعدات المساندة الأرضية ٥٠٠ ١٢٨ كجم، وافتُرض عامل انبعاث متوسط قدره ٤٨,٢ جم من أكاسيد النيتروجين/كجم من الوقود، تكون الكمية الإجمالية من انبعاثات أكاسيد النيتروجين هي ١٩٤ ٦ كجم.

النهج المتقدم

٢-١٥ باتباع هذا النهج، تُحسب الانبعاثات لجميع الموجودات من معدات المساندة الأرضية بأكملها أو على انفراد وفقاً لمتطلبات معدات المساندة الأرضية للطائرة المحددة. وفي كلتا الحالتين، يُستخدم وقت التشغيل الفعلي أو استخدام الوقود خلال فترة زمنية محددة (سنة واحدة مثلاً) لكل نوع من معدات المساندة الأرضية. ولتطبيق هذا الأسلوب للحساب، من الضروري الحصول على أو تقدير الموجودات لأسطول معدات المساندة الأرضية بحسب الفئة والنشاط المرتبط بها (ساعات/سنة، استخدام الوقود/سنة) لكل قطعة من معدات المساندة الأرضية. ويوجد بديلان باستخدام استعمال الوقود الإجمالي أو ساعات التشغيل الإجمالية لموجودات نموذج محدد من معدات المساندة الأرضية. وعند استخدام ساعات التشغيل الإجمالية، يمكن حساب الانبعاثات باستعمال تدفق الوقود المحدد أو عامل الحجم والحمولة لنموذج معدات المساندة الأرضية. ويمكن النظر كذلك في عامل التدهور إذا توافر.

٢ الديزل والبنزين: *دليل EMEP / EEA لجرد انبعاثات ملوثات الهواء* ٢٠١٣، 1.A.4.a.ii (يجوز استخدام قيم أخرى إذا اعتُبرت ملائمة أكثر).

$$\text{EmissionPollutant [g/GSE]} = \text{fuel flow [kg/h]} \times \text{emission factor}_{\text{Pollutant [g/kg fuel]}} \times \text{time [h]} \ (\times \text{DF})$$ المعادلة ٣–أ٢–٢

أو

$$\text{EmissionPollutant [g/GSE]} = \text{power [kW]} \times \text{load [\%]} \times \text{emission factor}_{\text{Pollutant [g/kW]}} \times \text{time [h]} \ (\times \text{DF})$$ المعادلة ٣– أ٢–٣

أو

$$\text{EmissionPollutant [g/GSE]} = \text{fuel flow [kg]} \times \text{emission factor}_{\text{Pollutant [g/kg fuel]}} \ (\times \text{DF})$$ المعادلة ٣– أ٢–٤

حيث:

power = size of engine (kW, sometimes bhp);

emission factor = based on engine type, fuel type, age, and reflecting design and emissions control technology of GSE;

time [h] = total annual operating time;

DF = deterioration factor.

٢–١٦ لهذا التطبيق، تُجمع من ثم انبعاثات معدات المساندة الأرضية لجميع القطع المنفردة من نوع معدات محدد وفوق موجودات معدات المساندة الأرضية بأكملها.

٢–١٧ على سبيل المثال، إذا كانت جميع سلالم الركاب في المطار، بمحركات ديزل ٩٥ كيلوواط ودليل انبعاث قدره ٦,٠ جم أكاسيد نيتروجين/كيلوواط في الساعة وعامل حمولة بنسبة ٢٥٪ ومجموع ٥٠٠ ٣ من ساعات التشغيل، وعلى افتراض عامل تدهور بنسبة ٣٪، فإن الكمية الإجمالية لانبعاثات أكاسيد النيتروجين هي:

95 kW × 0.25 load factor × 6.00 g/kW-h × 3 500 hours × 1.03 deterioration factor = 513 712.5 g (514 kg NOx)

النهج المتطوّر

٢–١٨ في إطار هذا النهج، تُحسب انبعاثات جميع معدات المساندة الأرضية لكل عملية طائرات منفردة (مثل الوصول والمغادرة والصيانة). وهذا الفرق التشغيلي ذو صلة بالموضوع عند ربط أنشطة الخدمات الأرضية للطائرة بجداول الرحلات الجوية حيث لا يكون للرحلة الجوية للوصول والمغادرة نفس رقم الرحلة الجوية أو لا يكون الوصول والمغادرة في تسلسل زمني (مثل حالات التوقف الليلي).

$$\text{Emission}_{\text{Pollutant}} \text{ [g]} = \text{power [kW]} \times \text{load factor [\%]} \times \text{emission factor}_{\text{Pollutant}} \text{ [g/kWh]} \times \text{time}_{\text{A/C–Ops}} \text{ [h]} \times \text{DF}$$ المعادلة ٣–أ٢–٥

حيث:

$\text{time}_{\text{A/C–Ops}}$ [h] = average time for GSE unit operation, dependent on type of operation (arrival, departure or maintenance), stand property and aircraft size;

DF = deterioration factor (reflecting age and maintenance of GSE).

٢–١٩ مرة أخرى، تُحسب انبعاثات معدات المساندة الأرضية لجميع القطع المنفردة لنوع محدد من المعدات وجميع العمليات المنفردة للخدمة الأرضية للطائرات (بما في ذلك عمليات الصيانة).

٢–٢٠ على سبيل المثال، يتم تشغيل سلّم للركاب لمدة ١٠ دقائق لطائرة من حجم **B-737** في موقف مفتوح (بعيد مثلاً) عند وصولها. وللسلّم محرّك ٤٥–كيلوواط، يشغَّل بحمولة بنسبة ٢٥٪، بدليل انبعاث أكاسيد النيتروجين قدره ٦,٠ جم/كيلوواط–ساعة وعامل تدهور بنسبة ٣٪. ويكون مجموع أكاسيد النيتروجين لهذا التشغيل لمعدات المساندة الأرضية هو:

45 kW × 0.25 load factor × 6.0 g/kW-h × 1.03 deterioration factor × 10 minutes × 1-hour/60 minutes = 11.61 g NO_x.

٣- حركة المركبات في منطقة التحركات المراقبة

٣-١ تعتَبر حركة المركبات في منطقة التحركات المراقبة جميع الآلات والمركبات التي تعمل على طرق خدمات منطقة التحركات المراقبة داخل محيط المطار على عكس تلك التي تعمل على مواقف الطائرات فقط. وتُعتَبر الانبعاثات، بصفتها تلك، صادرة أثناء السير عبر المسافات بدلاً عن صدورها خلال فترات زمنية. ومركبات منطقة التحركات المراقبة لا تشمل معدات المساندة الأرضية كما سبق تعريفها. وكذلك، فإن حركة الركاب والعاملين التي يتم تشغيلها على المنطقة المفتوحة للجمهور يرد بيانها على حدة في المرفق ٤ بهذا الفصل.

٣-٢ معظم المركبات في منطقة التحركات المراقبة هي "مركبات معادلة للمركبات على الطريق" ويمكن حساب انبعاثاتها بنفس الطريقة كالمركبات على الطريق في المنطقة المفتوحة للجمهور. وترد في المرفق ٤ إرشادات للقيام بذلك.

٤- تزويد الطائرات بالوقود

٤-١ في معظم المطارات، يتم تزويد الطائرات بالوقود إما من خلال شبكة أنابيب تحت الأرض بواسطة شاحنات خراطيم الوقود وإما من شاحنات الوقود المنفردة. وفي كلتا الحالتين، ينبعث بخار الوقود (المتبقّي من وقود الطيران المختلط بالهواء) من خزانات وقود الطائرة خلال عملية تزويدها بالوقود. وتنبعث الأبخرة أيضاً عند ملء شاحنة الوقود بالوقود في مستودع الوقود أو مرفق تخزين مماثل. وأي انبعاثات بسبب مناولة الوقود خلال تسليمه لمستودع الوقود أو مرفق التخزين لا تُعتبر جزءاً من هذه الإجراءات، ولكنها مبيّنة على حدة في المرفق ٣ بهذا الفصل.

٤-٢ تشمل البيانات التشغيلية المطلوبة لحساب انبعاثات تزويد الطائرات بالوقود ما يلي:

أ) كمية الوقود، حسب نوع الوقود (مثل الكيروسين أو غاسولين الطيران) التي يتم تسليمها للطائرة عن طريق شاحنة خرطوم الوقود (كجم).

ب) كمية الوقود التي يتم تسليمها للطائرة عن طريق شاحنة الوقود (كجم).

٤-٣ تشمل عوامل الانبعاث المتوسطة (المسماة أيضاً أدلة الانبعاث) المطلوبة ما يلي:

أ) الانبعاثات في صيغة جم من مواد عضوية متطايرة/كجم من الوقود للتزويد بالكيروسين.

ب) الانبعاثات في صيغة جم من مواد عضوية متطايرة/كجم من الوقود للتزويد بغاسولين الطيران.

٤-٤ ترد في الجدول ٣-أ٢-٦ عوامل الانبعاث المعتادة بالنسبة إلى زيوريخ، سويسرا. وينبغي إجراء تحليل باستخدام قيم عامل الانبعاثات الملائمة للدولة و/أو المطار قيد التقييم[٣].

الجدول ٣-أ٢-٦ — عوامل الانبعاث المعتادة بالنسبة إلى زيوريخ، سويسرا

تزويد الطائرات بالوقود*	الوحدة	القيمة
التزويد بالكيروسين	جم من مواد عضوية متطايرة/كجم من الوقود	٠,٠١
التزويد بغاسولين الطيران	جم من مواد عضوية متطايرة/كجم من الوقود	١,٢٧

* KIGA (مكتب الكانتون للتجارة والصناعة) زيوريخ، سويسرا، ١٩٩٤ (يجوز استخدام قيم أخرى إذا اعتُبرت ملائمة أكثر).

٣ مثلاً من *دليل EMEP / EEA لجرد انبعاثات ملوثات الهواء ٢٠١٣* 1.B.2.a.v.

٤-٥ من هذه المعلومات، يُجرى حساب الانبعاثات باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$\text{Emissions [g VOC]} = \Sigma_{\text{fuel types}} ((\text{fuel}_{\text{hydrant delivered}} [\text{kg}] + 2 \times \text{fuel}_{\text{tanker delivered}} [\text{kg}]) \times \text{emission factor [g/kg]e})$$ المعادلة٣- أ٢-٦

٤-٦ على سبيل المثال، إذا تم عن طريق شاحنة تسليم ١ ٥٠٠ ٠٠٠ كجم من وقود الطائرات النفاثة (دليل انبعاث بواقع ٠,٠١ جم من مواد عضوية متطايرة/كجم)، ٨٥٪ منه عن طريق نظام خرطوم و٥٠٠ كجم من غاسولين الطيران (دليل انبعاث بواقع ١,٢٧ جرام من مواد عضوية متطايرة/كجم)، فإن الكمية الإجمالية من تزويد الطائرات بالوقود هي:

(1 500 000 kg Jet A-1 x 0.85 x 0.01 g VOC/kg Jet A-1) + (1 500 000 kg Jet A-1 x 0.15 x 2 connections x 0.01 g VOC/kg Jet A-1) + (500 kg avgas x 2 connections x 1.27 g VOC/kg avgas) = 18 520 kg VOC.

٥- إزالة الجليد من الطائرات

٥-١ يمكن أن تكون عمليات إزالة الجليد من الطائرات وتجهيزات ميدان الطيران مصدراً للمركّبات العضوية المتطايرة والمركّبات الأخرى. والاستعمال الآلي لعوامل إزالة الجليد ومنع تكوّن الجليد على الطائرات، التي تتكوّن من كل من غلايكول البروبيلين أو غلايكول الايثيلين والماء، ينتج عنه بعض الفاقد للغلاف الجوي بسبب التبخّر والرش الزائد. غير أنه، بسبب القلق المتزايد إزاء آثار المواد الكيميائية لإزالة الجليد على نوعية المياه، يشيع الآن استخدام عمليات الصون والإنعاش التي تقلّل أيضاً من الآثار المحتملة على نوعية الهواء.

٥-٢ تستند عموماً انبعاثات مواد عضوية متطايرة من أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد[٤] إلى كمية سائل إزالة الجليد المستخدم والنسبة المئوية للمادة الكيميائية لإزالة الجليد (أي غلايكول الايثيلين) في الخليط وعامل للانبعاث. ويرد في الجدول ٣-أ٢-٧ مصدر من الولايات المتحدة لبيانات معدلات انبعاث مواد عضوية متطايرة لأنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد بالنسبة للطائرات وللمدارج والممرات الأرضية الخ. وينبغي إجراء تحليل باستخدام قيم عوامل الانبعاث الملائمة للدولة و/أو المطار قيد التقييم.

الجدول ٣-أ٢-٧ — مصدر من الولايات المتحدة لبيانات الانبعاثات — أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد

المادة	المصدر
غلايكول البروبيلين/غلايكول الايثيلين	FAA *Aviation Emissions and Air Quality* Handbook, 2014

٥-٣ لأغراض البيان العملي، تُقدَّم الصيغة التالية لحساب انبعاثات مواد عضوية متطايرة من أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد:

$$E_{VOC} = DF \times DS \times W_{DS} \times EF$$ المعادلة ٣- أ٢-٧

حيث:

E_{VOC} = انبعاثات مواد عضوية متطايرة (بالكيلوجرامات مثلاً)؛

DF = كمية سائل إزالة الجليد (بالليترات مثلاً)؛

DS = كمية مادة إزالة الجليد في سائل إزالة الجليد (نسبة مئوية)؛

W_{DS} = وزن مادة إزالة الجليد (بالكيلوجرامات/ليتر مثلاً)؛

EF = عامل الانبعاثات (بالكيلوجرامات/بالكيلوجرامات من المادة الكيميائية لإزالة الجليد).

٤ يوجد في المطارات نوعان من أنشطة إزالة الجليد لا صلة بينهما، أي: إزالة الجليد من الطائرات، كجزء من أنشطة الخدمات الأرضية لإحدى الطائرات، وإزالة الجليد من على السطح كجزء من صيانة المطار (بصرف النظر عن حجم الحركة أو حجم الطائرة).

٥-٤ باستخدام هذه الصيغة، يُقدَّم المثال التالي من أجل عمليات إزالة الجليد في أي مطار. وافترض أن مطاراً يستخدم ٥ كيلوليترات من خليط إزالة الجليد لإزالة الجليد من الطائرات و ٦٥٪ من خليط إزالة الجليد هو غلايكول الايثيلين. ووزن (أو كثافة) غلايكول الايثيلين هو ٢ كيلوجرامات/كيلوليتر وعامل الانبعاثات هو ٠,١١ كيلوجرامات من مواد عضوية متطايرة لكل كيلوجرام من غلايكول الايثيلين المستخدم. ولذلك، فإن كمية انبعاثات مواد عضوية متطايرة التي يتم إصدارها ستكون:

٥ كيلوليترات × ٠,٦٥ × ٢ كيلوجرامات/كيلوليتر × ٠,١١ كيلوجرامات من مواد عضوية متطايرة/كيلوجرام من عامل إزالة الجليد = ٠,٦٥ كيلوجرامات من مواد عضوية متطايرة.

٥-٥ يمكن أن تستند مستويات الانبعاثات المستقبلية إلى زيادة متوقعَة في عمليات الطائرات و/أو إلى المساحة الإجمالية للمدارج وللممرات الأرضية ولطرق السيارات، عند الانطباق.

المرفق ٣ بالفصل الثالث

مصادر الانبعاثات المتصلة بالهيكل الأساسي والثابتة

١- مقدمة

١-١ يُنظر إلى المطارات عادة على أنها تجمّع من مصادر الانبعاثات المتحركة أو "المتنقلة" (أي الطائرات ومعدات المساندة الأرضية والسيارات). غير أن معظم المطارات تتضمّن أيضاً مصادر "ثابتة" للانبعاثات (الغلايات، مولدات الكهرباء للطوارئ، المحارق، الخ) كجزء من هيكلها الأساسي وتجهيزاتها للمساندة. وعلى النقيض من المصادر المتنقلة، فإن المصادر الثابتة "غير متنقلة" وتظل "ثابتة" أو "بلا حركة"، وتصدر الانبعاثات من خلال مجموعة متنوعة من وسائل النقل مثل أنواع المداخن المختلفة و/أو فتحات التهوية.

١-٢ تُصنَّف مصادر انبعاثات الهواء الأخرى المتصلة بالهيكل الأساسي للمطار بوصفها مصادر "منطقة". ومن حيث المفهوم، تصدر هذه المصادر الانبعاثات إلى داخل الغلاف الجوي مباشرة ويمكن أن تكون متنقلة أو ثابتة في طبيعتها. وعادة ما تتضمن مصادر المنطقة في المطارات تجهيزات تخزين/تحويل الوقود وتجهيزات التدريب على النيران الحيّة وعمليات إزالة الجليد وأنشطة البناء. وأنشطة البناء، المصنّفة أيضاً بوصفها مصادر انبعاثات "خارج الطريق" أو "غير الطريق"، تشمل طائفة واسعة ومتنوعة من الشاحنات والحفّارات والراصفات والمعدات الثقيلة الأخرى. وتعتبر من مصادر المنطقة أيضاً أنشطة البناء التي تشتمل على تخزين/نقل المواد الخام والتخلّص من أنقاض البناء وإنتاج الأسفلت أو الخرسانة.

١-٣ يقدّم هذا المرفق إرشادات بشأن إعداد تقديرات الانبعاثات من أجل المصادر الثابتة ومصادر المنطقة بالمطارات ومن أجل ملوّثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربون والهيدروكربونات غير الميثانية وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل.

١-٤ توجد طائفة واسعة من قواعد البيانات لعوامل الانبعاث التي يمكن استخدامها لحساب أنواع وكميات الانبعاثات الصادرة عن المصادر الثابتة في المطارات. غير أنه أكثر ما يشيع الاستشهاد باثنتين منها في أوروبا وأمريكا الشمالية وهما اللتان أنتجتهما وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة ووكالة البيئة الأوروبية:

a) U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (AP-42)*, Fifth Edition and Supplements, 1995 (with supplements through 2009); and

b) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions): http://www.eea.europa.eu//publications/emep-eea-guidebook-2013 ..

١-٥ بيد أن الأساليب المنهجية المبيّنة في الوثائق المستشهد بها مشابهة لتلك المُستخدمة في بلدان وأقاليم أخرى ومما يتجاوز نطاق هذا الدليل الإرشادي إيراد قائمة بجميع المصادر الوطنية للمعلومات. وفي هذا المرفق، يُطرح عدد من الأمثلة المحلولة باستخدام بيانات من وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة ولكن كان يمكن أن يختار المؤلفون أمثلة أخرى. وتقع على عاتق مسؤولي المطار المكلّفين بمهمة إعداد قوائم حصر الانبعاثات المسؤولية عن استخدام أكثر عوامل الانبعاث ملاءمة.

٢- وحدات القدرة/التدفئة والغلايات ومولدات الكهرباء

٢-١ الانبعاثات من وحدات القدرة/التدفئة (أي الغلايات وأجهزة التدفئة) ومولدات الكهرباء للطوارئ متضمنة إلى حد كبير في عادم حرق أنواع الوقود ذات الأساس الهيدروكربوني. وهذه تشمل انبعاثات أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربون وأكاسيد الكبريت

والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل. وتُستخدم مجموعة متنوعة من أنواع الوقود في وحدات القدرة/التدفئة بما في ذلك الفحم وزيت الوقود ووقود الديزل والغاسولين والغاز الطبيعي وكذلك غاز البترول السائل ولكل منها خصائص انبعاثاته الخاصة.

٢-٢ بالنسبة للمصادر الثابتة التي لديها تصاريح تشغيل، يمكن عادة الحصول على أنواع وكميات انبعاثات ملوّثات الهواء من ملفات الوكالة التنظيمية المختصة و/أو تصريح التشغيل نفسه. وفي حالة عدم وجود مثل هذا التصريح أو معلومات مساندة، فإن الانبعاثات عادة ما تكون قائمة على أساس الفترة الزمنية (أي القدرة الحصانية – الساعات) لاستخدام المعدات الفعلي أو التقديري (أي معدلات النشاط) ونوع الوقود وأي تكنولوجيات قابلة للتطبيق لمراقبة الانبعاثات أو تخفيضها. وبالنسبة للغلايات/أجهزة التدفئة الجديدة أو الموسّعة، يمكن تأسيس معدلات النشاط المستقبلي على الزيادة في مساحة محطة المطار في الحالات التي تكون فيها التقديرات الإجمالية كافية للتحليل.

٢-٣ ترد في الجدول ٣-أ٣-١ المصادر المستخدمة عموماً لبيانات معدلات الانبعاث المتوافرة بالنسبة للغلايات/أجهزة التدفئة (بحسب نوع الوقود والملوّث)، وترد في الجدول ٣-أ٣-٢ بيانات الانبعاثات بالنسبة لمولّدات الكهرباء للطوارئ.

الجدول ٣-أ٣-١ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث – الغلايات/أجهزة التدفئة

Fuel	Source
Coal, including anthracite, bituminous, bituminous/subbituminous, and subbituminous coal	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), groups 1.A.1 and 1.A.4
Fuel oil	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), groups 1.A.1 and 1.A.4
LPG	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), groups 1.A.1 and 1.A.4
Natural gas	EPA, AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Ch. 1 *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), groups 1.A.1 and 1.A.4

الجدول ٣-أ٣-٢ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث – مولدات الكهرباء للطوارئ

Fuel	Methodology	Source
Diesel fuel	USAF (distillate oil)	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
Gasoline	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
Kerosene/naphtha (jet fuel)	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
LPG (propane or butane)	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
Natural gas	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
Residual/crude oil	USAF	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 3
Various fuels	EEA	*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), group 1.A.4

٢-٤ لأغراض البيان العملي، تُحسب تقديرات الانبعاثات من وحدات القدرة/التدفئة والغلايات ومولدات الكهرباء باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$E = A \times EF \times (1–ER/100)$$ المعادلة ٣-أ٣-١

حيث:

E = الانبعاثات (الكيلوجرامات/اليوم مثلاً).

A = معدل النشاط (القدرة الحصانية – الساعة أو الليترات/اليوم مثلاً).

EF = عامل الانبعاثات (الكيلوجرامات/الليتر المحدَّد لنوع الوقود والملوِّث مثلاً).

ER = كفاءة معدات المراقبة في تخفيض الانبعاثات (٪).

٢-٥ في الحالات التي يكون فيها محتوى الوقود من الكبريت كبيراً، قد تكون صيغة بديلة ملائمة أكثر. وباستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي من أجل مولد الكهرباء للطوارئ في المطار. افترض أن مطاراً لديه مولد كهرباء للطوارئ بمحرك ديزل قدرته ٣٣٥ حصاناً بكفاءة تخفيض انبعاثات بنسبة ٧٥ في المائة. وإذا كان عامل انبعاث أكاسيد النيتروجين هو ١٤,٠ جرامات/القدرة الحصانية – الساعة وكان المطار يشغّل المولد ١ ٠٠٠ ساعة سنوياً، سيكون مجموع انبعاثات أكاسيد النيتروجين:

١ ٠٠٠ ساعة × ١٤,٠ جرامات/القدرة الحصانية – الساعة × ٣٣٥ حصاناً × (١-٧٥/١٠٠) =

١ ١٧٢ ٥٠٠ جرام من أكاسيد النيتروجين

٣- المحارق

٣-١ عندما توجد محارق في المطارات فهي عادة ما تُستخدم لإبادة أو تعقيم المهملات والنفايات الأخرى الخاضعة للتنظيم المنتجة والمنقولة على متن الطائرات الدولية. وقد تكون لدى المطار أيضاً مرافق لإعداد الطعام تستخدم محارق للتخلّص من الفضلات الصلبة (أي الورق والخشب والبلاستيك وغير ذلك من النفايات).

٣-٢ لدى محارق الفضلات القابلة للاحتراق مجموعة متنوعة من أنواع وأشكال الأفران (المستقيمة، المعوجّة، الخ.)، تشمل غرف الاحتراق المنفردة أو المتعددة وعادة ما يكون وقودها الغاز الطبيعي أو الزيت أو غاز البترول السائل. وتُستخدم معدات وتكنولوجيات المراقبة في كل من عملية الحرق والمدخنة للمساعدة على تخفيض الانبعاثات الزائدة.

٣-٣ بالنسبة للمحارق القائمة التي لديها تصاريح تشغيل، يمكن الحصول على تقديرات انبعاثات ملوّثات الهواء من ملفات الوكالة التنظيمية المختصة و/أو تصريح التشغيل نفسه. وفي حالة عدم وجود تصريح، كثيراً ما تستند تقديرات الانبعاثات إلى نوع الوقود ومحتوى وكمية الفضلات المحروقة وعوامل الانبعاث الملائمة للوقود والفضلات وتصميم غرفة الاحتراق. وبالنسبة للتجهيزات الجديدة والمتوسعة، يمكن أن تستند كميات الفضلات المحروقة المتنبّأ بها إلى الزيادة المتوقعة في الرحلات الجوية الدولية و/أو الزيادة في مقدمي خدمات الطعام، عند الانطباق.

٣-٤ ترد في الجدول ٣-أ٣-٣ المصادر المستخدمة عادة لبيانات معدلات الانبعاث بالنسبة لمحارق الفضلات القابلة للاحتراق.

الجدول ٣-أ٣-٣ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث — محارق الفضلات القابلة للاحتراق

عدد الغرف	المصدر
منفردة ومتعددة	EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 2 *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), group 5.

٣-٥ لأغراض البيان العملي، تُحسب تقديرات الانبعاثات من محرقة الفضلات القابلة للاحتراق باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$E = A \times EF \times (1–ER/100)$$ المعادلة ٣-أ٣-٢

حيث:

E = الانبعاثات (كيلوجرامات/سنة، جرامات/يوم مثلاً).

A = كمية الفضلات المحروقة (أطنان مترية أو كيلوجرامات/يوم مثلاً).

EF = عامل الانبعاثات (كيلوجرامات أو جرامات/طن متري مثلاً).

ER = كفاءة معدات المراقبة في تخفيض الانبعاثات (٪).

٣-٦ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لمحرقة. افترض أن مطاراً لديه محرقة ذات غرفة واحدة بكفاءة تخفيض الانبعاثات بنسبة ٨٠ في المائة. وإذا كان عامل انبعاث أول أكسيد الكربون هو ١,٠ كيلوجرامات/طن متري من الفضلات وكان المطار يحرق ٥٠٠ ٢ طن متري من الفضلات، ستكون انبعاثات أول أكسيد الكربون الإجمالية:

١,٠ كيلوجرامات × ٥٠٠ ٢ طن متري × (١–١٠٠/٨٠) = ٥٠٠ كيلوجرام من أول أكسيد الكربون (أي ٠,٥ طن متري)

٤- تجهيزات صيانة الطائرات/المطارات

٤-١ في معظم المطارات الكبيرة، عادة ما تقوم شركات الطيران التجارية أو مقدمو الخدمة الآخرون بتشغيل تجهيزات صيانة الطائرات والاضطلاع بالعمليات المنتظمة لتفتيش الطائرات والإصلاحات على جسم الطائرة والمحرّكات والأجهزة الأخرى. وقد تُجرى أيضاً مجموعة متنوعة من عمليات معالجة السطح والتغطية والطلاء. وفي المطارات الأصغر، عادة ما يقوم مشغّلون ذوو قاعدة ثابتة وملكية خاصة بتقديم هذه الخدمات للصيانة.

٤-٢ كثيراً ما تتضمن المطارات أيضاً مجموعة متنوعة من تجهيزات المساندة للعاملين في المباني وميدان الطيران والتوريدات والأنشطة. والأعمال والعمليات التي تولّد انبعاثات مرتبطة بهذه الأنواع من التجهيزات تشمل طلاء المباني ورسم الأشرطة على المدارج/الممرات الأرضية/ساحات وقوف الطائرات وإصلاح وتنظيف الأسفلت/الخرسانة. ولأن هذه الأنشطة كثيراً ما تتضمن طبقات تغطية سائلة ومذيبات بترولية ومواد أخرى قابلة للتبخّر، فإن الملوّثات التي تدعو للقلق بصورة أولية هي مواد عضوية متطايرة.

٤-٣ في معظم الحالات، تنتج الانبعاثات من هذه المصادر بصفة عامة من التبخّر و/أو الرش الزائد للمواد المستخدمة. وفي حالات قليلة فقط تُعتبر كميات الانبعاثات هامة.

٤-٤ يمكن استخدام صحائف بيانات السلامة المادية لمعظم المنتجات والمواد للحصول على المحتوى المتطاير للمركّبات العضوية المتطايرة (المعبّر عنه عادة بالأرطال (أو الجرامات) من مواد عضوية متطايرة لكل غالون (أو ليتر) من المادة المستخدمة). وترد في الجدول ٣-أ٣-٤ مصادر بديلة لبيانات معدلات الانبعاث لطبقة التغطية السطحية والمذيبات الأخرى.

الجدول ٣-أ٣-٤ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث — تجهيزات صيانة الطائرات/المطارات

النشاط	المادة	المصدر
طبقة التغطية السطحية	الطلاء (المحلول في المذيب أو الماء) والمينا واللك وبطانة الدهان والورنيش/الشيلاك والمرقّق واللاصق	• FAA *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, 2014 • *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), group 2.D
مزيلات الشحوم المذيبة	الأسيتون والكحول (الايثيلي والميثيلي) وتيتراكلوريد الكربون والكلوروفورم والايثر وكحول الايسوبروبيل وكلوريد الميثيلين وبركلورو/ايثيلين ومذيب ستودارد و١،١،١-تريكلورويثين وتريكلورو-ايثيلين والتربانتين	• FAA *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, 2014 • Occupational Safety and Health Administration (OSHA) https://www.osha.gov/ • *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), group 2.D

٤-٥ لأغراض البيان العملي، يمكن الحصول على تقديرات انبعاثات مواد عضوية متطايرة من طبقة التغطية السطحية باستخدام المعادلة العامة التالية التي تأخذ بعين الاعتبار كمية طبقة التغطية المستخدمة ومحتوى المادة من مواد عضوية متطايرة و، عند الانطباق، عامل كفاءة تخفيض الانبعاثات لعملية وضع الطبقة:

$$Evoc = Q \times VOCC \times ER$$ المعادلة ٣-أ٣-٣

حيث:

Evoc = انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة (كيلوجرامات مثلاً)؛

Q = كمية مادة طبقة التغطية (ليترات مثلاً)؛

VOCC = محتوى مادة طبقة التغطية من مواد عضوية متطايرة (جرامات/ليتر مثلاً)؛

ER = كفاءة معدات المراقبة في تخفيض الانبعاثات (٪).

٤-٦ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لاستخدام مذيب لتنظيف المعادن. إذا كان أحد تجهيزات صيانة الطائرات يستخدم ٢٥٠٠ ليتر من بطانة الدهان في مقصورة رش كفاءتها لتخفيض الانبعاثات بنسبة ٦٥٪ وكان محتوى بطانة الدهان من مواد عضوية متطايرة هو ٣,٢ كيلوجرام لكل ليتر، فإن كمية مواد عضوية متطايرة المنبعثة ستكون:

٢٥٠٠ ليتر × ٣,٢ كيلوجرام/ليتر × (١ – ٦٥/١٠٠) = ٢٨٠٠ كيلوجرام من مواد عضوية متطايرة (أي ٢,٨ طن متري).

٤-٧ يتضمن مثال آخر تبخّر مذيب مباشرة إلى الغلاف الجوي. وفي هذه الحالة، يُفترض أنه لا يتم التخلّص من المذيب كله. لذلك، كما هو مبيّن في المعادلة التالية، فإن الاختلاف في كمية المذيب المستخدم وكمية المذيب الذي تم التخلّص منه يُضرب في كثافة المادة لاستنتاج الكمية المنبعثة في الغلاف الجوي:

$$E_{VOC} = (QC–QD) \times D$$ المعادلة ٣-أ٣-٤

حيث:

Evoc = انبعاثات مواد عضوية متطايرة.

QC = كمية المذيب المُستهلَكة (ليترات مثلاً).

QD = كمية المذيب التي تم التخلّص منها كفضلات سائلة (ليترات مثلاً).

D = كثافة المذيب (كيلوجرام/ليتر مثلاً).

٤-٨ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لمولّد كهرباء للطوارئ لأحد المطارات. افترض أن أحد تجهيزات صيانة مطار يستخدم ٩٥٠ ليتراً من التربنتين، ويتخلّص من ٧٥٠ ليتراً كفضلات سائلة، وأن كثافة التربنتين هي ٠,٨٧ كيلوجرام لكل ليتر. ستكون كمية مواد عضوية متطايرة:

٩٥٠ ليتراً مستهلكة – ٧٥٠ ليتراً تمّ التخلّص منها = ٢٠٠ ليتر

٢٠٠ ليتر × ٠,٨٧ كيلوجرام/ليتر = ١٧٤ كيلوجراماً من مواد عضوية متطايرة (أي ٠,١٧٤ طن متري).

٥- مستودعات الوقود وشبكات الخراطيم ومحطات تزويد المركبات بالوقود

٥-١ يمكن أن تحتوي تجهيزات تخزين الوقود ونقله في المطار على مجموعة من أنواع الوقود وأنواعه السائدة هي وقود الطائرات النفاثة (وقود الطائرات النفاثة Jet-A، كيروسين الطائرات النفاثة، وقود الطائرات النفاثة JP-4) وغاسولين الطيران وأنواع وقود السيارات (الغاسولين والديزل). وهذه التجهيزات وعمليات النقل هي مصدر محتمل للهيدروكربونات القابلة للتبخّر (مواد عضوية متطايرة مثلاً).

٥-٢ يمكن أن تنبعث من خزانات حفظ الوقود مركّبات عضوية متطايرة من الأنشطة "الدائمة" (أي التخزين) وأنشطة "العمل" (أي السحب و/أو إعادة الملء) على السواء. وتشمل المتغيّرات الهامة التي تؤثر على كميات الانبعاثات الصادرة ضغط بخار الوقود والتخزين وأحجام الوقود العابر وأنواع الخزانات (فوق سطح الأرض، بسقف متحرك، الخ.) والأحوال المناخية (أي درجة الحرارة والرطوبة). ومن الأهمية بمكان أن ضغوط بخار وقود الطائرات النفاثة والديزل منخفضة بحيث أن معظم الوكالات البيئية لا تتطلب أي ضوابط على هذه الانبعاثات.

٥-٣ يرد في الجدول ٣-أ٣-٥ مصدر شائع الاستخدام لبيانات معدلات الانبعاث من خزانات حفظ الوقود.

الجدول ٣-أ٣-٥ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث — خزانات حفظ الوقود

نوع الخزان	الوقود	المصدر
أفقي، سقف ثابت رأسي، سقف متحرك داخلي، سقف متحرك خارجي، سقف متحرك خارجي مقّبب	نفتا الطائرات النفاثة (JP-4)، كيروسين الطائرات النفاثة، الغاسولين، زيت الوقود المقطّر رقم ٢، زيت الوقود المتبقّي رقم ٦	EPA, AP-42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Vol. 1, Chapter 7: Liquid Storage Tanks; *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), group 1.B.

٥-٤ لأغراض البيان العملي، يمكن الحصول على تقديرات لانبعاثات مواد عضوية متطايرة من خزانات حفظ الوقود باستخدام المعادلة العامة التالية التي تأخذ بعين الاعتبار الفواقد الدائمة وفواقد العمل على السواء.

$$E_{VOC} = SL + WL = (QS \times EF) + (QT+EF)$$ المعادلة٣- أ٣-٥

حيث:

E_{VOC} = انبعاثات مواد عضوية متطايرة (كيلوجرامات مثلاً).

SL = الفاقد الدائم.

WL = فاقد العمل.

QS = كمية الوقود المخزون (كيلوليترات مثلاً).

QT = كمية الوقود العابر (كيلوليترات مثلاً).

EF = عامل انبعاث نوع الوقود (كيلوجرامات/كيلوليتر مثلاً).

٥-٥ باستخدام هذه الصيغة، يُقدَّم المثال التالي لتخزين ونقل وقود الطائرات النفاثة في خزان فوق سطح الأرض. إذا كان مرفق للوقود يخزّن ١٥٠٠ كيلوليتر من وقود الطائرات النفاثة (بفقد دائم قدره ٢٠٠ جرام من مواد عضوية متطايرة/كيلوليتر في اليوم) ويصرف ٩٠ كيلوليتراً من الوقود يومياً (بفاقد عمل قدره ١٠٠ جرام من مواد عضوية متطايرة/كيلوليتر في اليوم)، فإن الكمية التقديرية للمركّبات العضوية المتطايرة المنبعثة ستكون:

(١٥٠٠ كيلوليتر × ٢٠٠ جرام/كيلوليتر) + (٩٠ كيلوليتراً × ١٠٠ جرام/كيلوليتر)
= ٣٠٩ كيلوجرامات من مواد عضوية متطايرة (أي ٠,٣١ طن متري).

٦- التدريب على إطفاء الحريق

٦-١ في بعض المطارات، يقوم العاملون في الإنقاذ ومكافحة الحريق في المطار بالتدريب على الاستجابة للطوارئ باستخدام أجهزة محاكاة النار الحيّة. وهذه التجهيزات، التي وقودها إما وقود الطائرات النفاثة وإما الديزل، يمكن أن تكون مصدراً لدخان أسود كثيف وجسيمات دقيقة ومركّبات عضوية متطايرة عند استخدامها. وتتوافر أيضاً أنواع جديدة من الوقود "منخفض الدخان" وهي تُعتبر مقبولة أكثر بيئياً مثلما هو الحال بالنسبة للتجهيزات التي وقودها البروبين.

٦-٢ تتفاوت كمية الوقود المستخدمة للتدريب "بالنار الحيّة" على الإنقاذ ومكافحة الحريق في المطار بحسب تواتر الاستخدام وأنواع النيران المشعلة ونوع الوقود.

٦-٣ دليل انبعاثات الطيران ونوعية الهواء الصادر عن إدارة الطيران الاتحادية هو أكثر مصدر موثوق للمعلومات من أجل أنشطة التدريب على إطفاء الحريق هو غير مُدرج في مطبوعات EMEP/EEA. وترد في الجدول ٣-أ٣-٦ المصادر المتوافرة لبيانات معدلات انبعاث أكثر أنواع الوقود التي يشيع استخدامها في أنشطة التدريب على إطفاء الحريق.

الجدول ٣-أ٣-٦ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث — التدريب على إطفاء الحريق

نوع الوقود	المصدر
وقود الطائرات النفاثة P-4، وقود الطائرات النفاثة JP-8، البروبين	FAA *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, 2014
وقود الطائرات النفاثة JP-5, tekflame	FAA *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, 2014

٦-٤ تستند تقديرات انبعاثات ملوّثات الهواء من تمارين التدريب على إطفاء النار الحيّة إلى نوع الوقود وكمية الوقود المحروق ومعدلات الانبعاث بحسب الملوّث. ويمكن حساب هذه الانبعاثات باستخدام المعادلة التالية:

$$E_{VOC} = QF \times EF$$ المعادلة٣- أ٣-٦

حيث:

E_{VOC} = انبعاثات مواد عضوية متطايرة.

QF = كمية الوقود (بالكيلوليترات مثلاً).

EF = عامل الانبعاثات (جرامات/كيلوليتر من الوقود مثلاً).

٦-٥ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لمرفق للتدريب بالنار الحيّة على الإنقاذ ومكافحة الحريق في المطار. افترض أن مطاراً يجري تدريباً بالنار الحيّة كل شهر وتُستخدم كل مرة ٣ كيلوليترات من البروبين (أي ٣٦ كيلوليتراً في السنة). وعلى افتراض عامل انبعاث للجسيمات الدقيقة للبروبين بواقع ١٨ كيلوجراماً/كيلوليتراً من الوقود، ستكون كمية الجسيمات الدقيقة المنبعثة:

٣٦ كيلوليتراً × ١٨ كيلوجراماً/كيلوليتراً = ٦٤٨ كيلوجراماً من الجسيمات الدقيقة (أي ٠,٦٥ طن متري).

٧- أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد

٧-١ يمكن لعمليات إزالة الجليد من أسطح ميدان الطيران مصدراً للمركّبات العضوية المتطايرة والمركّبات الأخرى. وينتج عن الوضع الآلي لعوامل إزالة الجليد ومنع تكوّن الجليد، التي تشتمل على غلايكول البروبيلين اوغلايكول الايثيلين والماء، بعض الفاقد في الغلاف الجوي بسبب التبخّر والرش الزائد. وتستخدم على المدارج والممرات الأرضية وساحات وقوف الطائرات اليوريا أو أسيتات البوتاسيوم أو محاليل غلايكول الايثيلين واليوريا والماء. غير أنه، بسبب القلق المتزايد بشأن آثار المواد الكيميائية لإزالة الجليد على نوعية المياه، يشيع الآن استخدام عمليات الصون والإنعاش التي تقلّل أيضاً من الآثار المحتملة على نوعية الهواء.

٧-٢ تستند انبعاثات مواد عضوية متطايرة من أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد عموماً إلى كمية سائل إزالة الجليد المستخدم والنسبة المئوية للمادة الكيميائية لإزالة الجليد (أي غلايكول الايثيلين) في الخليط وعامل للانبعاث. وترد في الجدول ٣-أ٣-٧ مصادر بيانات معدلات انبعاث مواد عضوية متطايرة لأنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد بالنسبة للطائرات وبالنسبة للمدارج والممرات الأرضية الخ. ويمكن الاطلاع في القسم ٥ من المرفق ٢ على مثال للحساب بالنسبة لإزالة الجليد من الطائرات، ويُجرى الحساب بالنسبة لأسطح ميدان الطيران بنفس الطريقة.

الجدول ٣-أ٣-٧ — مصادر بيانات معدلات الانبعاث — أنشطة إزالة/منع تكوّن الجليد

المادة	المصدر
غلايكول البروبيلين/غلايكول الايثيلين	FAA *Aviation Emissions and Air Quality Handbook*, 2014

٨- أنشطة البناء

٨-١ أنشطة البناء التي تولّد انبعاثات لملوّثات الهواء تشمل تنظيف الأرض وهدم المباني (انبعاثات الغبار) واستخدام معدات ومركبات البناء (انبعاثات العادم) وتخزين المواد الخام (انبعاثات التحات بفعل الريح) والرصف (الانبعاثات التبخّرية). والمركبات المتصلة بالبناء تشمل المركبات التي تظل بموقع البناء (مثل المركبات خارج الطريق أو لغير الطريق) والمركبات التي تذهب إلى خارج الموقع (مثل شاحنات الملء والإفراغ). وتنجم الانبعاثات الملوّثة أيضاً عن رحلات العاملين المتصلة بالبناء إلى موقع البناء ومنه.

٨-٢ ترد في الجدول ٣-أ٣-٨ مصادر الولايات المتحدة العامة لبيانات معدلات الانبعاث لأنشطة البناء.

الجدول ٣-أ٣-٨ — بيانات معدلات مصدر الانبعاث — أنشطة البناء

النشاط/نوع المركبة	المصدر
تنظيف الأرض/هدم المباني	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 13: Miscellaneous Sources
معدات البناء/المركبات (خارج الطريق)	EPA NONROAD model
مركبات البناء (على الطريق)	EPA MOBILE model
أكوام تخزين المواد (الدائمة وللعمل)	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 13: Miscellaneous Sources
الرصف بالأسفلت	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 4: Evaporation Loss Sources
وحدات خلط الكميات	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 11: Mineral Products Industry
فصل كميات الخرسانة	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 11: Mineral Products Industry
الحرق المفتوح	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 2: Solid Waste Disposal
سير المركبات على طرق غير مرصوفة	EPA AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1, Chapter 13: Miscellaneous Sources

٨-٣ بالنسبة لأوروبا، يمكن الحصول على عوامل الانبعاث لهذه الأنشطة في *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (2013 or later versions), groups 1.A.3, 1.A.4, 2.D, 5.A, 5.C.

٨-٤ لأغراض البيان العملي، يمكن الحصول على تقديرات انبعاثات الجسيمات الدقيقة من عمل كوم للتخزين باستخدام المعادلة العامة التالية التي تأخذ بعين الاعتبار المادة العابرة خلال العملية (أي كمية المادة المستخدمة خلال وقت معيّن وعدد النقط التي تخضع لها المادة (مرة أثناء الشحن ومرة أثناء التفريغ)). ومن الملاحظ أن عوامل انبعاث المواد المختلفة تتفاوت بتفاوت نوع المادة وحجم جسيمها ومحتواها من الطمي ومحتواها من الرطوبة.

$$E_{PM} = 2 \times TH \times EF$$ المعادلة ٣-أ٣-٧

حيث:

E_{PM} = انبعاثات الجسيمات الدقيقة (كيلوجرامات مثلاً).

2 = عدد النقط التي تخضع لها المادة.

TH = المادة العابرة الإجمالية.

EF = عامل الانبعاثات (جرامات مثلاً).

٨-٥ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لعمليات البناء في أحد المطارات. افترض أن عملية بناء تشتمل على نقل ١٠٠ طن متري من حجر الجير. وعلى افتراض أن المحتوى من الرطوبة هو ٠,٢ في المائة وأن حجم الجسيم الأيروديناميي هو ٠,٤٥ ميكرومتر وأن

متوسط سرعة الريح هو ٢٠ كيلومتراً في الساعة، ستكون كمية الجسيمات الدقيقة المولّدة كما يلي بالاستناد إلى عامل انبعاث بواقع ٥٤ جرامات/طن متري:

٢ × ١٠٠ طن متري × ٥٤ جرامات/طن متري = ٨٠٠ ١٠ جرام (أي ٠,٠١ طن متري).

٦-٨ يتضمن مثال آخر لانبعاثات البناء استخدام مركبة خارج الطريق. والمعادلة المستخدمة للحصول على تقديرات الملوّثات من هذا النوع من أنشطة البناء تأخذ بعين الاعتبار نوع المعدات (مثل الحفّارة، الشاحنة المفصلية) وحجم قطعة المعدات (أي القدرة الحصانية) وعامل الحمولة الموضوعة على قطعة المعدات (أي نسبة الحمولة طوال فترة زمنية معينة إلى الحمولة القصوى) وفترة التشغيل (أي الساعات).

٧-٨ لأغراض البيان العملي، يمكن استنتاج تقديرات انبعاثات العادم من مركبات ومعدات البناء من الصيغة التالية.

$$E = H \times EF \times LF \times T$$ المعادلة ٣-أ٣-٨

حيث:

E = الانبعاثات (جرامات/يوم مثلاً).

H = القدرة الحصانية لقطعة المعدات.

EF = عامل الانبعاثات (جرامات/القدرة الحصانية-الساعة).

LF = عامل الحمولة (في المائة).

T = فترة التشغيل الإجمالية (ساعات).

٨-٨ باستخدام هذه الصيغة، يُعطى المثال التالي لاستخدام الحفّارة. افترض أن متعهد مطار يستخدم حفّارة قدرتها الحصانية ٤٠٠ لثلاث ساعات كل يوم، ١٥ يوماً في الشهر، لفترة سنة وعامل متوسط حمولة قطعة المعدات هو ٥٩ في المائة. وإذا كان عامل انبعاث الحفّارة هو ٩,٦ جرام لكل قدرة حصانية-ساعة، ستكون كمية أكاسيد النيتروجين:

قدرة حصانية ٤٠٠ × ٩,٦ جرام/قدرة حصانية-ساعة × ٠,٥٩ × ٥٤٠ ساعة = ٤٢٤ ٢٢٣ ١ جراماً (أي ١,٢ طن متري).

المرفق ٤ بالفصل الثالث

انبعاثات حركة المركبات

١- مقدمة

١-١ يمكن أن تشكّل الانبعاثات من النقل السطحي المتصل بالمطارات جزءاً كبيراً من الانبعاثات الإجمالية المرتبطة بأنشطة المطارات. ويركّز الإرشاد المقدم في هذا المرفق على نهوج وأساليب إعداد قائمة حصر للانبعاثات من السيارات التي تعمل "على الطريق" في كل من منطقة التحركات المراقبة والمنطقة المفتوحة للجمهور. وتناقَش أيضاً البيانات والمعلومات المساندة الأخرى المطلوبة لإعداد هذه التقديرات. وقد تحتاج المطارات لأن تدرج في قائمة الحصر نظم النقل السطحي الأخرى التي قد تُنسَب انبعاثاتها إلى عمليات المطار (مثل قطارات الديزل على خط السكة الحديدية الرابط بالمطار).

١-٢ تشمل مركبات المنطقة المفتوحة للجمهور التي تعمل على الطريق سيارات الأجرة والشاحنات الصغيرة والحافلات والسيارات الخاصة ومركبات التشغيل الخفيف ومركبات التشغيل الشاق والدراجات النارية الكبيرة والصغيرة التي تسير على شبكة الطرق الداخلية للمطار وداخل مرافق الوقوف في المطار. والمركبات على الطريق بمنطقة التحركات المراقبة هي المركبات التي تسير بصفة رئيسية داخل منطقة مؤمنة في المطار (أي المنطقة التي يتم فيها وصول الطائرات ومغادرتها). ويمكن أن تشمل هذه المركبات حافلات نقل طاقم وركاب شركة الطيران ومركبات خدمة الطائرات/المطار والمركبات الأخرى التي تُحسَب تقديرات انبعاثاتها بنفس طريقة حساب انبعاثات مركبات المنطقة المفتوحة للجمهور (أي المركبات المصمّمة حول هيكل معدني وتُستخدم على الطرق العامة وتتم قيادتها بمنطقة التحركات المراقبة بطريقة مماثلة لقيادتها على الطريق العام). وتناقَش في المرفق ٢ نهوج تقدير الانبعاثات من معدات المساندة الأرضية.

١-٣ في الأقسام التالية، تناقَش ثلاثة نهوج لحساب انبعاثات السيارات – نهج بسيط ونهج متقدم ونهج متطوّر – ويتطلب كل منها مستويات متزايدة الشمول للبيانات المدخلة وتشعّب الحساب.

١-٤ تستند النهوج الثلاثة كلها إلى أسلوب "متوسط سرعة المركبة" الذي يشيع استخدامه لحسابات انبعاثات الحركة على الطريق من أجل قوائم الحصر للنطاق المتوسط (أي المنطقة) وللنطاق الكلّي (أي المدينة أو الإقليم)، التي يجب أن تُدمج فيها وتقارَن بها انبعاثات المطارات. ومن المعترف به أن نماذج السرعة المتوسطة قد تكون لها حدود على سرعات المركبات المنخفضة بسبب تفاوت السرعات الوقتية. ويتأثر الناتج من هذه النماذج أيضاً بتوافر البيانات المساندة من مصادر خارجية.

٢- البارامترات

٢-١ اعتماداً على النهج (أي البسيط أو المتقدم أو المتطوّر)، فإن بعض أو جميع البارامترات في المناقشة التالية ضرورية في مختلف مستويات التفصيل لإعداد تقدير لانبعاثات حركة المركبات.

٢-٢ على الرغم من أن غرض هذه الإرشادات هو إعداد قائمة حصر للانبعاثات، ينبغي أن يأخذ القارئ علماً بأنه قد يكون من المطلوب أيضاً في نهاية الأمر إجراء دراسة لنوعية الهواء باستخدام نمذجة التشتّت. وفي هذا السياق كثيراً ما تتضمن نماذج نوعية الهواء نماذج لحركة المرور على الطريق لا تشتمل إلا على قليل من البارامترات المدخلة المطلوبة ومن ثم يُطلب من المحلّلين تقدير البارامترات الناقصة بوسائل أخرى.

٢-٣ من الواضح أن بعض البارامترات سيكون لها تأثير أكبر على النتائج من بارامترات أخرى. ولهذه الغاية، قد يُستخدم مفهوم ترتيب البارامترات لتحديد الأهمية النسبية لكل بارامتر. وقد يُستخدم نظام الترتيب لتحديد أولوية جمع البيانات المدخلة من أجل قائمة الحصر.

٢-٤ فيما يلي مثال نظام ترتيب يستند إلى التجارب في منطقة لندن هيثرو.[١] وتبيّن القائمة، بترتيب الأهمية، البارامترات التي تُعتبر مؤثرة على نتائج الحصر. والترتيب الأساسي ملخّص في القائمة حسب الأهمية.

أ) المرتبة ١ — مدى شبكة الطرق.

ب) المرتبة ٢ — انسياب الحركة (الفترات المنمذجة – الملامح).

ج) المرتبة ٣ — الأسطول والتكوين.

د) المرتبة ٤ — سرعات الحركة على الطريق.

هـ) المرتبة ٥ — صفوف انتظار الحركة على الطريق.

و) المرتبة ٦ — نهاية الرحلة.

ز) المرتبة ٧ — بارامترات الحركة الأخرى.

تناقش في الأقسام التالية بعض المسائل بالنسبة لكل مرتبة.

النطاق الجغرافي — امتداد شبكة الطرق

٢-٥ يحدد النطاق الجغرافي شبكة الطرق وأنواع الطرق التي تشملها قائمة حصر انبعاثات حركة المركبات. ويُستخدم النطاق الجغرافي أيضاً بالاقتران مع النهج المختار لتحديد نوع البيانات المدخلة المطلوبة لقائمة الحصر.

٢-٦ يمكن أن يقتصر النطاق الجغرافي على الطرق وأماكن الوقوف داخل حدود ملكية المطار (كل من منطقة التحركات المراقبة والمنطقة المفتوحة للجمهور) أو، في بعض الحالات، يمكن تمديده ليشمل الطرق وأماكن الوقوف العامة التي "تغذّي" مطاراً وفيها كمية كبيرة من الحركة المتصلة بالمطار. ويتوقف اختيار النطاق الجغرافي لمشروع ما على غرض الدراسة ونوع البيانات المدخلة المتوافرة والنهج المختار، الذي يناقَش فيما يلي:

أ) يجمّع النهج البسيط كل الطرق معاً لتوفير قائمة حصر عامة قائمة على "المسافة الإجمالية المقطوعة" (أو الأميال المقطوعة بالمركبة) مع افتراضات عامة بشأن خلطة أسطول المركبات وعمره وسرعتها. وقد يقتصر النهج البسيط على محيط المطار دون رابطة بانبعاثات المركبات الإقليمية.

ب) يقسّم النهج المتقدم النتائج إلى طرق منفردة وفقاً لمستوى تفصيل البيانات المدخلة. وسيتطلب كل قطاع من الطريق أحجام الحركة المتوسطة أو الأميال المقطوعة بالمركبة وسرعة المركبة المعتادة.

ج) يلتقط النهج المتطور أكبر قدر ممكن من التفاصيل بشأن شبكة الطرق في الدراسة، مع تفصيل كاف لإعطاء حصر ذي حساسية عالية للتغيّرات في الهيكل الأساسي والاستخدام. وعلى سبيل المثال ينبغي تقسيم شبكة الطرق لإعطاء أجزاء من الانحدار الثابت للسماح بالتعويض عن الانبعاثات الصاعدة والنازلة.

٢-٧ قد يشمل النهجان المتقدم والمتطور الحركة خارج المطار المتصلة مباشرة بأنشطة المطار ولكنها تقع خارج الموقع. وأياً كان النهج المستخدم، ولتفادي الحساب المزدوج لانبعاثات المركبات، يجب أن لا يشمل التحليل المركبات بالقرب من المطار التي تقوم بحصرها أطراف أخرى (أي مثل المركبات من حركة النقل غير المتصلة بالمطار على الطرق القريبة). وهذه الانبعاثات لمركبات خارج المطار قد تكون

١ Department for Transport (United Kingdom), Project for the Sustainable Development of Heathrow: Air Quality Technical Report, 19 July 2006.

أيضاً ذات صلة بتقييم نوعية الهواء بالقرب من المطار، على نحو يتوقف على غرض الدراسة و/أو المتطلبات التنظيمية للوكالات الحكومية أو الإقليمية أو المحلية.

النطاق الزمني – انسياب الحركة

٢-٨ يحدّد النطاق الزمني (أي الزماني) فترة تحديد المتوسط التي يتم خلالها حساب قائمة حصر انبعاثات حركة المركبات (ساعة، يوم، فصل، سنة مثلاً). ويتم تقليدياً اختيار فترات سنة تقويمية واحدة وذلك، ضمن أسباب أخرى، لأن هذا يبسّط التوافق مع بيانات مؤشر الانبعاثات وقواعد بيانات المركبات الوطنية.

أ) بالنسبة للنهج البسيط، يكفي حساب الكميات السنوية الإجمالية لانبعاثات كل ملوّث، بالاستناد إلى أحجام الحركة السنوية والمسافات المقطوعة وسرعات التشغيل المتوسطة وخلطة الأسطول التمثيلية.

ب) بالنسبة للنهج المتقدم، ينبغي أن يتيح التقسيم الزماني إجراء تقديرات أو قياسات للتغيّرات اليومية و/أو التي تحدث كل ساعة في ظروف الحركة (مثل فترة الذروة) وخلطة الأسطول (أنظر أسطول المركبات وتشكيله).

ج) بالنسبة للنهج المتطوّر، ينبغي أن يستخدم التقسيم الزماني ملامح معتمدة على الوقت لتوفير خلطة الأسطول كل ساعة على الطرق في الدراسة التي يُعتبر أنها تقدم مساهمات كبيرة في قائمة الحصر.

أسطول المركبات وتكوينه

٢-٩ كما سلف بيانه، فإن فئات السيارات التي عادة ما تُدرَج في قائمة الانبعاثات المتعلقة بمطار تشمل سيارات الركاب والشاحنات الصغيرة وشاحنات التشغيل الخفيف والثقيل والحافلات وسيارات الأجرة والمركبات الأخرى ذات المحركات. ويجوز إعداد قوائم حصر منفصلة لمركبات المنطقة المفتوحة للجمهور ولمركبات منطقة التحركات المراقبة. ويمكن أيضاً وضع مزيد من الفئات لانبعاثات مركبات المنطقة المفتوحة للجمهور بحيث يتم الفصل بين الانبعاثات بحسب نوع الطريق أو الإضافة (طرق الدخول، مواقف السيارات، محطات الركاب، الأرصفة، الخ.). وعموماً يمكن تعريف كل نوع من المركبات بواحدة من الفئات الأربع التالية :

أ) سيارات الركاب.

ب) مركبات التشغيل الخفيف الأخرى (مثل سيارات الأجرة، الشاحنات الصغيرة، سيارات الليموزين).

ج) مركبات التشغيل الشاق (بما في ذلك الحافلات الحضرية والحافلات السفرية).

د) المركبات ذات العجلتين (الدراجات النارية الصغيرة والكبيرة).

٢-١٠ يرد داخل هذه الفئات تنوّع كبير لأنواع وأعمار المركبات وأنواع الوقود والخصائص التشغيلية. ولهذا السبب، فإن الفئات التي سلف إيرادها كثيراً ما يتم تقسيمها إلى فئات فرعية بحسب حجم ونوع المركبة ومستوى مراقبة الانبعاثات ونوع الوقود ونوع المحرك والغرض التشغيلي.

٢-١١ بالمثل، قد توضع الحافلات الحضرية والحافلات السفرية في فئة منفصلة إذا توافرت العوامل المناسبة للانبعاثات والحمولة التشغيلية. وكما سلفت مناقشته، ستحتاج مركبات منطقة التحركات المراقبة إلى عناية خاصة لتفادي الحساب المزدوج للحركة المرتبطة بمركبات المنطقة المفتوحة للجمهور وبعض معدات المساندة الأرضية.

٢-١٢ البدائل للحصول على البيانات لخلطة أسطول المركبات ملخصة على النحو التالي:

أ) يستنتج النهج البسيط بيانات المركبات من قواعد البيانات الوطنية لمتوسط خلطة/عمر أسطول المركبات. وقد يستنتج النهج المتقدم أيضاً بيانات المركبات من السجلات الوطنية، ولكن عادة ما تكون خلطة/عمر الأسطول معبّرة عن الأسطول التي

يتم تشغيله في المطار. ومن الملاحظ أنه في إطار النهج المتقدم، قد يتم أيضاً تحديد خلطة أسطول المركبات باستخدام ملامح معتمدة على الزمن لقطاعات الطريق المختلفة (مثلاً لإفساح مجال لزيادات الصباح/المساء في عدد السيارات الخاصة والحافلات عند وصول العاملين في المطار ومغادرتهم).

ب) قد يستخدم النهج المتطور تقنيات لقياس النوع والعمر الفعليين للمركبات – إما كبيانات مصدرية للدراسة وإما للتحقق من صحة البيانات الوطنية. وقد يكون استخدام البيانات المقيسة في سياق المطار جذاباً نظراً لأن البيانات الوطنية قد لا تمثل العمر المعتاد للسيارات التي تستخدم الطرق في الدراسة. ويستخدم مثال لهذه التقنية تسجيلات الفيديو للوحات ترخيص المركبات والارتباط بسجلات الرخص ليتم بدقة تقديم نوع المركبة/المحرك ونوع الوقود والعمر. وينبغي القيام بتصنيف حركة المركبات بحسب الركاب والعاملين في المطار والصيانة والبناء والبضائع.

متوسط السرعة وصفوف الانتظار

٢-١٣ كما سلفت مناقشته، فإن النهوج البديلة لحساب انبعاثات المركبات المقدمة في هذه الإرشادات تعتمد على متوسط السرعة كأحد مدخلات التحليل. وصفوف الانتظار هي حالة خاصة تتسم بسرعات متوسطة منخفضة للغاية وقد تشمل انبعاثات تبخرية خلال الدوران البطيء. وتتم معالجة كل من الحالتين كما يلي:

أ) قد يستخدم النهج البسيط متوسط سرعة شامل. وقد تُحلَّل انبعاثات صفوف الانتظار كعامل إلى معامل للحركة الإجمالية.

ب) يتطلب النهج المتقدم تقديراً لمتوسط السرعة لكل قطاع طريق مقترناً بملامح لوقت الانتظار في الصفوف بالنسبة للقطاعات الرئيسية التي تظهر تأخيرات.

ج) قد يزيد النهج المتطور البيانات المستخدمة للنهج المتقدم ببيانات مقيسة. غير أنه يتعين المزيد من تحديد قطاعات الطريق لإعطاء متوسط سرعة محدد حسب القطاع. وبالنسبة لكل قطاع قد يتم تحديد متوسط السرعة لكل فئة من المركبات. وينبغي تخصيص أوقات انتظار في صفوف الحركة للقطاعات كل على حدة.

نهاية الرحلة وبارامترات الحركة الأخرى

٢-١٤ انبعاثات نهاية الرحلة هي الانبعاثات المرتبطة "ببدء التشغيل البارد" الذي يحدث في بداية الرحلة، أما انبعاثات "التشرّب الحار" المماثلة فهي تحدث عند نهاية الرحلة بمجرد إطفاء محرّك المركبة وصدور انبعاثات تبخرية (مركّبات عضوية متطايرة في معظم الأحيان) من نظام الوقود خلال الاستعمال وحينما تكون المركبة واقفة. وتُحسب هذه الانبعاثات من المركبات بوصفها انبعاثات إضافية وتنطبق بصورة رئيسية على أماكن الوقوف والأرصفة خارج محطات المطار.

انبعاثات المركبات الأخرى

٢-١٥ تشمل انبعاثات المركبات الأخرى الانبعاثات من غير المحرك للجسيمات الدقيقة (أي الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل) من المركبات على الطريق التي تحدث نتيجة لتشغيل نظم الكبح وتآكل الإطارات ومن تآكل سطح الطريق ومن تعلّق الجسيمات التي سبق أن ترسّبت. وسيكون التوزيع المكاني لهذه المصادر سريعة الانتشار للانبعاثات ثابتاً نسبياً ومتسقاً مع نسق شبكة الطرق. غير أنه ستكون هناك زيادات حيث توجد بصورة روتينية أكثف حركة للتوقف ثم السير، مثل أي من جانبي خطوط التوقف عند تقاطعات وأركان الطرق. وستحدث اختلافات زمانية على أساس نهاري وموسمي لأن خصائص الطريق والقيادة تتفاوت وفقاً لكثافة الحركة وأحوال الطريق.

٢-١٦ لا يتيح النهج البسيط أي مجال للانبعاثات سريعة الانتشار.

٢-١٧ قد يتضمن النهج المتقدم قيماً لمناطق الحركة الكثيفة والتقاطعات الرئيسية ومواقع البناء. وينبغي تقسيم شبكة الطرق لتخصيص قيمة بديلة لكل قطاع.

٢-١٨ يشمل النهج المتطور انبعاثات نهاية الرحلة والانبعاثات من غير المحرك على أساس قطاع الطريق ويقسّم البيانات لعرض قوائم حصر منفصلة لمركبات العاملين والركاب.

٣- عوامل انبعاثات المركبات

٣-١ بالنسبة لمركبات الطريق، تمثل عوامل الانبعاثات كميات الوحدة من ملوّث التي تنبعث عندما تقطع مركبة مسافة من الطريق (يعبَّر عنها عادة كجرامات أو ميليجرامات لكل كيلومتر) و/أو عند الدوران البطيء لمحرك مركبة لطول معين من الزمن (يعبَّر عنها عادة كجرامات أو ميليجرامات لكل دقيقة).

٣-٢ يتم الحصول على عوامل انبعاثات الحركة من نماذج الحاسوب وقواعد البيانات الأخرى المصممة خصيصاً لإصدار مثل هذه العوامل. وتوفّر هذه المصادر عوامل انبعاثات المركبات المحلية التي تتفاوت بصورة تتوقف على درجة الحرارة المحيطة وسرعة السير وطريقة تشغيل المركبة (مثل الدوران البطيء والسير المستقيم والتباطؤ والتعجيل وبدء التشغيل البارد وبدء التشغيل الساخن والموازَن) ونوع/تطاير الوقود وتكنولوجيا المركبة وعمرها وحالة التفتيش/الصيانة ومعدل تراكم المسافة المقطوعة (كلم/سنة).

٣-٣ تُستخدم عوامل الانبعاثات، بالنسبة لنماذج السرعة المتوسطة في العادة، لحساب عامل انبعاث إجمالي لقطاع من الطريق (جم/كلم) لكل فئة من المركبات المستخدمة على الطريق ولسرعة متوسطة. وفي حالة أماكن الوقوف، تُستخدم أيضاً عوامل الانبعاثات المعبّر عنها في صيغة جم/حدث، مثل بدء تشغيل المحرك. وفي النهج المتطوّر، قد تتفاوت عوامل الانبعاثات حسب الوقت من اليوم/الأسبوع على أساس العوامل المناخية المحلية.

٣-٤ بالنسبة للمركبات المتصلة بالمطارات، تتوافر عوامل الانبعاثات من المصادر التالية:

a) United States EPA MOVES;
b) California's EMFAC2011;
c) CITEPA[2] method based on COPERT 4;
d) EUROCONTROL ALAQS method based on COPERT 4; and
e) LASPORT method based on the Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA).

٤- اختلافات نماذج عوامل انبعاثات الملوّثات

٤-١ نماذج انبعاثات المركبات المستشهد بها في ٣-٤ مقدمة كمصادر لعوامل انبعاثات مركبات الطريق الحالية والمستقبلية، ولكنها صُممت أصلاً لغرض رصد تأثير التشريع الوطني و/أو المحلي لنوعية الهواء (MOVES, CITEPA). ويقدّر هذان النموذجان عدداً من ملوّثات العادم التي تشمل أول أكسيد الكربون والهيدروكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة (وعدد من الجسيمات في بعض الأحيان) وأكاسيد الكبريت وملوّثات خطيرة للهواء مختارة وثاني أكسيد الكربون. وتوفَّر أيضاً في حالات عديدة الانبعاثات التبخرية من الوقود وانبعاثات الجسيمات الدقيقة من تآكل الكوابح وتآكل الإطارات.

٤-٢ تقسَّم الملوّثات ذات الصلة بانبعاثات مركبات الطريق إلى مجموعة يشملها التشريع ومجموعة لا يشملها التشريع. وترد في الجدولين ٣-أ٤-١ و٣-أ٤-٢ أنواع الملوّثات المنمذجة في العادة. وعند اختيار نموذج من المهم ملاحظة أن بعض نماذج انبعاثات المركبات ستقدّم تقارير عن الملوّثات بطرق مختلفة، وعلى سبيل المثال قد يقدم بعضها تفاصيل الهيدروكربونات والملوّثات المتطايرة، بينما قد تجمّع نماذج أخرى هذه كملوّث واحد. ومن بين الملوّثات الأخرى غير المشمولة، قد يحتاج الرصاص لحسابه إذا كان الوقود الذي يحتوي على رصاص لا يزال مستَخدَماً وإذا كان يتوافر عامل انبعاث للوقود الذي يحتوي على رصاص.

٢ المركز التقني المشترك بين المهنيين للدراسات المتعلقة بالتلوث الجوي، فرنسا

٤-٣ يبيّن الجدول ٣-أ٤-١ الملوّثات الخاضعة لتشريع نوعية الهواء في دولة واحدة أو أكثر.

٤-٤ يتسنى لبعض النماذج الإبلاغ عن مجموعة موسعة من الملوّثات إذا توافرت الأدلة الملائمة كما هو مبيّن في الجدول ٣-أ٤-٢.

الجدول ٣-أ٤-١ — مجموعة الملوّثات الأساسية — الخاضعة للتشريع

الملوّث	ملاحظات
أول أكسيد الكربون	
الهيدروكربون	قد توفّر بعض النماذج نتائج حسب الملوّث المكوّن – أنظر المجموعة الموسّعة من الملوّثات أدناه.
أكاسيد النيتروجين (ثاني أكسيد النيتروجين + أول أكسيد النيتروجين)	قد تبلغ بعض النماذج عن ثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد النيتروجين بصورة منفصلة.
أكاسيد الكبريت	
الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل	
الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل	قد يُدرج في الإبلاغ عن الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل.

الجدول ٣-أ٤-٢ — المجموعة الموسّعة — غير الخاضعة للتشريع

الملوّث	ملاحظات
1.3,-Butadiene	
Acetaldehyde	
Acrolein	
Benzene	
CO_2	ستحسب معظم النماذج حرق الوقود (من ثم يمكن أن يستمد ثاني أكسيد الكربون) ولكن بسبب أن ثاني أكسيد الكربون ليس من غازات نوعية الهواء المحلي، فهو مدرج في المجموعة الموسّعة.
CH_4	
Cu	
CHCO	
HCB	قد يشتمل عليه الهيدروكربون.
N_2O	
NH_3	
MTBE	
PAH : BaP, BbF, BkF, IndPy	قد يشتمل عليه الهيدروكربون.
PCDD-F	قد يشتمل عليه الهيدروكربون.

TSP

٥- الحسابات

٥-١ يناقَش هذا القسم النهوج الثلاثة (البسيط والمتقدم والمتطور) وتُعرَض صيغ يمكن استخدامها للحصول على تقديرات الانبعاثات الإجمالية من المركبات التي يتم تشغيلها على الطرق المتصلة بالمطار وأماكن الوقوف والأرصفة.

٥-٢ في حين يوجد العديد من الأساليب المختلفة لحساب انبعاثات المركبات، تستند النهوج الثلاثة في هذه الإرشادات إلى أسلوب "متوسط سرعة المركبة" لأنه الأكثر ملاءمة لسياق المطار. غير أن اختيار أسلوب الحساب في نهاية الأمر سيعتمد على نطاق قائمة الحصر والبيانات المدخلة المتوافرة.

٥-٣ يتوقف اختيار نهج للحساب على غرض التحليل وتشعّب البيانات المدخلة المتوافرة للدراسة.

أ) ***البسيط*** — مناسب لما يمكن تسميته نهجاً "تنازلياً". ويجمّع هذا النهج البسيط الانبعاثات الإجمالية من العدد الإجمالي للمركبات – الكيلومترات التي قُطعت من الطول الإجمالي لجميع الطرق داخل منطقة دراسة محددة باستخدام خليط الأسطول الوطني المنشور والسنة المرجعية وعدد الأميال السنوي لكل فئة من المركبات.

ب) ***المتقدم*** — يتم باستخدام النهج المتقدم تحديد قطاعات الطريق فردياً بحسب الطول ومتوسط السرعة وخلطة الأسطول. وقد تُستخدم ملامح للنشاط لوصف الانسياب النهاري (مثل التفاوت الزمني) للحركة على كل قطاع من الطريق.

ج) ***المتطوّر*** — يتطلب النهج المتطوّر أكبر قدر من البيانات (نهج تصاعدي). ويتم تجميع الانبعاثات بحسب قطاع الطريق وبحسب الساعة وحسابها على حدة بالنسبة للعدد الفعلي (المقيس مثلاً) من المركبات لكل نوع من المركبات يسير على قطاع الطريق، إلى جانب عمره وتفاصيل محركه. وقد يتم إدراج التفاصيل الكاملة لشبكة الطرق بما في ذلك الانحدارات وأسطح الطرق. ويمكن من ثم تجميع الانبعاثات من الحركة على كل قطاع من الطريق للفترة المعنية (أي ساعة واحدة وأسبوع واحد وسنة واحدة).

النهج البسيط

٥-٤ لأغراض البيان العملي، يمكن حساب تقديرات الانبعاثات باتباع النهج البسيط باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$E = RL \times NV \times EF$$ المعادلة ٣-أ٤-١

حيث:

E = الانبعاثات (جرامات مثلاً).

RL = طول الطريق (كيلومترات مثلاً).

NV = عدد المركبات على الطريق بحسب الفئة والعمر والسرعة.

EF = عامل الانبعاثات بالنظر إلى فئة المركبة وعمرها وسرعتها (جرامات/مركبة–كيلومتر مقطوعة مثلاً).

٥-٥ باستخدام هذه الصيغة، يحسب المثال التالي مستوى الانبعاثات باتباع النهج البسيط. افترض أن طريقاً طوله ٥ كيلومترات. وعلى مدى ٢٤ ساعة تعبر ١٠٠ ٠٠٠ مركبة الطريق بسرعة سير متوسطها ٣٥ كيلومتراً في الساعة. وتشتمل خلطة أسطول المركبات على ٨٠ في المائة من سيارات الركاب و١٠ في المائة من مركبات التشغيل الخفيف و٥ في المائة من مركبات التشغيل الشاق و٥ في المائة من المركبات ذوات العجلتين. وفضلاً عن ذلك، فإن درجة الحرارة المتوسطة هي ٢١ درجة مئوية للفترة المعنية (٢٤ ساعة مثلاً). وعلى افتراض أن عامل انبعاث أول أكسيد الكربون هو ٣٠ جراماً لكل كيلومتر، فإن انبعاثات أول أكسيد الكربون الإجمالية من الطريق تُحسب كما يلي:

٥ كيلومترات × ١٠٠ ٠٠٠ مركبة × ٣٠ جراماً لكل كيلومتر = ١٥ مليون جرام من أول أكسيد الكربون (أي ١٥ طناً متريا).

النهج المتقدم

٥-٦ لأغراض البيان العملي، يمكن حساب تقديرات انبعاثات القيادة في المناطق الحضرية باتباع النهج المتقدم باستخدام المعادلة التالية:

$$E_{total} = (RL_1 \times NV_1 \times EF_1) + (RL_2 \times NV_2 \times EF_2) + (RL_n \times NV_n \times EF_n)$$ المعادلة ٣-أ٤-٢

حيث:

E_{total} = الانبعاثات الإجمالية لجميع قطاعات الطريق (جرامات مثلاً).

$RL_{1..n}$ = طول الطريق (كيلومترات مثلاً).

$NV_{1..n}$ = عدد المركبات على الطريق بحسب الفئة والعمر والسرعة.

$F_{1..n}$ = عامل الانبعاثات بالنظر إلى فئة المركبة وعمرها وسرعتها (جرامات/مركبة – كيلومتر مقطوعة مثلاً).

٥-٧ باستخدام هذه الصيغة، يحسب المثال التالي مستوى الانبعاثات باتباع النهج المتقدم. افترض أنه يوجد طريقان داخل منطقة دراسة محددة. وأحد الطريقين طوله ٢,٤ كيلومتر والآخر طوله ٢,٦ كيلومتر. وطوال فترة ٢٤ ساعة تعبر ٦٠ ٠٠٠ مركبة الطريق الأقصر وتعبر ٤٠ ٠٠٠ مركبة الطريق الأطول. وسرعة السير المتوسطة على كل طريق هي ٣٥ كيلومتراً في الساعة.

٥-٨ على الطريق الأقصر، تشتمل خلطة أسطول المركبات على ٨٠ في المائة من سيارات الركاب و١٠ في المائة من مركبات التشغيل الخفيف و٥ في المائة من مركبات التشغيل الشاق و٥ في المائة من المركبات ذوات العجلتين. وعلى الطريق الأطول، يشتمل أسطول المركبات على ٧٥ في المائة من سيارات الركاب و١٥ في المائة من مركبات التشغيل الخفيف و١٠ في المائة من مركبات التشغيل الشاق. ودرجة الحرارة المتوسطة هي ٢١ درجة مئوية للفترة المعنية (٢٤ ساعة).

٥-٩ على افتراض أن عامل انبعاث أول أكسيد الكربون للطريق الأقصر هو ٣٠ جراماً لكل كيلومتر وأن عامل انبعاث أول أكسيد الكربون للطريق الأطول هو ٣٥ جراماً لكل كيلومتر، فإن انبعاثات أول أكسيد الكربون الإجمالية من قطاعات الطريق تُحسب كما يلي:

(٢,٤ كيلومتر × ٦٠ ٠٠٠ مركبة × ٣٠ جراماً لكل كيلومتر) + (٢,٦ كيلومتر × ٤٠ ٠٠٠ مركبة × ٣٥ جراماً لكل كيلومتر) = ٧ ٩٦٠ ٠٠٠ جرام من أول أكسيد الكربون (أي ٧,٩٦ طن متري).

النهج المتطور

٥-١٠ ستُستخدم صيغة النهج المتقدم أيضاً للنهج المتطور كما هو مبيّن في المثال التالي (الاختلاف الوحيد هو كمية البيانات المطلوبة ونطاقها).

٥-١١ افترض أنه خلال ساعة الذروة الصباحية من يوم ما، تقطع ٥ ٠٠٠ مركبة طريقاً طوله ١,٥ كيلومتر. وخلال ساعة الذروة المسائية، تقطع ٧ ٠٠٠ مركبة نفس الطريق. وطوال كل من ساعات اليوم المتبقية، تقطع ٢٥ في المائة من حركة ساعة الذروة الصباحية (١ ٢٥٠ مركبة) الطريق.

٥-١٢ سرعة السير المتوسطة على الطريق خلال ساعة الذروة الصباحية هي ٤٥ كيلومتراً في الساعة وسرعة السير المتوسطة على الطريق خلال ساعة الذروة المسائية هي ٣٠ كيلومتراً في الساعة. وفي حين يتراوح الحجم والسرعة، تظل خلطة أسطول المركبات ثابتة خلال أيام الأسبوع على ٨٠ في المائة من سيارات الركاب و١٠ في المائة من مركبات التشغيل الخفيف و٥ في المائة من مركبات التشغيل الشاق و٥ في المائة من المركبات ذوات العجلتين. وتتغير النسب في نهايات الأسابيع إلى ٨٠ في المائة من سيارات الركاب و١٠ في المائة من

مركبات التشغيل الخفيف و٨ في المائة من مركبات التشغيل الشاق و٢ في المائة من المركبات ذوات العجلتين. ومن نسبة ٨٠ في المائة من السيارات خلال أيام الأسبوع، فإن ٤٠ في المائة هم عاملون يصلون إلى مكان العمل و٦٠ في المائة هم ركاب.

٥-١٣ خلال ساعة الذروة الصباحية، تكون درجة الحرارة المتوسطة ٤ درجات مئوية وخلال ساعة الذروة المسائية تكون درجة الحرارة المتوسطة ٢١ درجة مئوية. وفي جميع ساعات اليوم الأخرى، تكون درجة الحرارة ١٠ درجات مئوية.

٥-١٤ على افتراض أن عامل انبعاث أول أكسيد الكربون المرجح (لحساب خلطة الأسطول ونوع المركبة وعمرها ووقودها) خلال ساعة الذروة الصباحية هو ٣٠ جراماً لكل كيلومتر، وأن العامل خلال ساعة الذروة المسائية هو ٢٠ جراماً لكل كيلومتر، وأن عامل الانبعاثات في كل ساعة أخرى من اليوم هو ٢٥ جراماً لكل كيلومتر، تُحسب انبعاثات أول أكسيد الكربون الإجمالية من قطاعات الطريق على النحو التالي:

(١,٥ كيلومتر × ٠٠٠ ٥ مركبة × ٣٠ جراماً لكل كيلومتر) + (١,٥ كيلومتر × ٠٠٠ ٧ مركبة
× ٢٠ جراماً لكل كيلومتر) + (٢٢ ساعة × (١,٥ كيلومتر × ٢٥٠ ١ مركبة × ٢٥ جراماً لكل كيلومتر)
= ٢٥٠ ٤٦٦ ١ جراماً من أول أكسيد الكربون (أي ١,٤٧ طن متري).

٥-١٥ يأخذ المثال المبيّن هنا بعين الاعتبار قطاعاً واحداً من الطريق. وسيتعين تكرار هذا الحساب لجميع قطاعات الطريق مع مراعاة خلطة الأسطول والسرعات الخ. وأخيراً، يُفترض في المثال أن عامل الانبعاثات ثابت لكل قطاع من الطريق. ويفترض اتباع النهج المتطور أن الاختلافات النهارية والموسمية ثابتة.

الرصيف ومكان الوقوف

٥-١٦ باستثناء واحد، يمكن أيضاً استخدام الصيغة والنهوج التي سلفت مناقشتها لتقدير الانبعاثات من المركبات التي تدور محركاتها ببطء على الأرصفة والتي تسير/تدور محركاتها ببطء في مرافق الوقوف المتصلة بالمطار (الكاراجات وأماكن الوقوف على السطح مثلاً). وبدلاً عن عوامل الانبعاث القائمة على المسافة فإن هذه قائمة على الوقت أو الحدث وتحسب عمليات بدء التشغيل الساخن والبارد والتشرّب الحار (دوران المحرك على الرصيف) والانبعاثات التبخرية.

٥-١٧ لأغراض البيان العملي، يمكن حساب تقديرات الانبعاثات من المركبات التي تدور محركاتها ببطء على الأرصفة والتي تسير/تدور محركاتها ببطء في أماكن الوقوف باستخدام المعادلة العامة التالية:

$$E_{total} = (TD_m \times NV_m \times EF_m) + (T \times NV_1 \times EF_1)$$ المعادلة ٣-أ٤-٣

حيث:

E_{total} = الانبعاثات الإجمالية لجميع المركبات المتحركة والتي تدور محركاتها ببطء (جرامات مثلاً).

TD_m = مسافة السير (كيلومترات مثلاً).

NV_m = عدد المركبات على الطريق بحسب الفئة والعمر والسرعة.

EF_m = عامل الانبعاثات للمركبات المتنقلة (المتحركة) بالنظر إلى فئة المركبة وعمرها وسرعتها (جرامات/مركبة – كيلومتر مقطوعة مثلاً).

T = وقت الانتظار (دقائق مثلاً) الذي تكون فيه المركبة متوقفة.

NV_1 = عدد المركبات التي تدور محركاتها ببطء بحسب الفئة والعمر والسرعة.

EF_1 = عامل الانبعاثات عند الدوران البطيء بالنظر إلى فئة المركبة وعمرها وسرعتها (جرامات/دقيقة مثلاً).

٥-١٨ باستخدام هذه الصيغة، يحسب المثال التالي مستوى الانبعاثات لرصيف باتباع النهج البسيط. افترض أن طول رصيف ٠,٢ كيلومتر. وخلال فترة ٢٤ ساعة تعبر ٠٠٠ ٢ مركبة الطريق المجاور للرصيف بسرعة سير متوسطة قدرها ٢٥ كيلومتراً في الساعة. ويشتمل

خليط أسطول المركبات على ٩٥ في المائة من سيارات الركاب و٥ في المائة من مركبات التشغيل الخفيف. وبينما يقوم السائقون بشحن/بتفريغ أمتعة الركاب، يدور محرك كل مركبة ببطء لمدة دقيقتين. ودرجة الحرارة النهارية المتوسطة هي ٢١ درجة مئوية. وعلى افتراض عامل انبعاث متحرك لأول أكسيد الكربون قدره ٣٠ جراماً لكل كيلومتر (عامل الانبعاثات المناظر لسرعة المركبة البالغة ٢٥ كيلومتراً في الساعة) وعامل انبعاث أول أكسيد الكربون خلال الدوران البطيء قدره ٤ جرامات لكل دقيقة، تُحسب انبعاثات أول أكسيد الكربون من الرصيف على النحو التالي:

(٠,٢ كيلومتر × ٠٠٠ ٢ مركبة × ٣٠ جراماً لكل كيلومتر) + (٢ دقيقتين × ٠٠٠ ٢ مركبة × ٣ جرامات لكل دقيقة) = ٠٠٠ ٢٨ جرام من أول أكسيد الكربون (أي ٠,٠٢٨ طن متري).

الإضافة (أ) للمرفق ٤

نماذج المركبات المرجعية

قام مكتب وكالة حماية البيئة للنقل وجودة الهواء (OTAQ) بتطوير جهاز يحاكي انبعاثات المركبات (MOVES). ويُقدِّر هذا النظام الجديد للنمذجة الانبعاثات بالنسبة للمصادر المتحركة التي تغطي طائفة واسعة من الملوثات، كما يمكّن من إجراء تحليل متعدد النطاقات. ويقدر MOVES حالياً الانبعاثات من السيارات والشاحنات والدراجات النارية. وهو متاح على الموقع الإلكتروني التالي: http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm (تم الاطلاع عليه في يونيو ٢٠٢٠).

أما EMFAC فهي أداة جرد انبعاثات المصدر المتحرك التي يستخدمها مجلس الموارد الجوية في كاليفورنيا (CARB) لتقييم عدد السكان والنشاط والانبعاثات من المصادر المتحركة. وأصدر مجلس الموارد الجوية في كاليفورنيا EMFAC2011 ، وهو نموذجه الرسمي لتقدير الانبعاثات من السيارات على الطرق والشاحنات والحافلات في كاليفورنيا. ويمكن العثور على الأداة في https://arb.ca.gov/emfac/2011/ (تم الاطلاع عليها في يونيو ٢٠٢٠).

أما COPERT 4 فهو برنامج مايكروسوفت ويندوز يستخدم لحساب انبعاثات ملوثات الهواء من النقل البري. وتتسق منهجية COPERT 4 بشكل كامل مع القسم الخاص بالنقل البري في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 .11 EMEP/EEA *2019*– إن استخدام أداة برمجية لحساب انبعاثات النقل البري يتيح إجراءً شفافاً وموحداً، وبالتالي متسقاً وقابلاً للمقارنة لجمع البيانات والإبلاغ عن الانبعاثات، يفي بمتطلبات الاتفاقيات والبروتوكولات الدولية ولوائح الاتحاد الأوروبي. وتتوفر المعلومات في http://copert-4.software.informer.com/8.0/ (تم الاطلاع عليها في يونيو ٢٠٢٠).

ويوفر دليل عوامل الانبعاثات للنقل البري عوامل انبعاث لجميع فئات المركبات الحالية (سيارات الركاب، والمركبات الخفيفة، ومركبات البضائع الثقيلة، والحافلات الحضرية، والحافلات، والدراجات النارية). وتنقسم كل فئة من فئات المركبات إلى فئات فرعية لمجموعة واسعة من حركة المرور. وتشمل هذه العوامل عوامل الانبعاثات بالنسبة لجميع الملوثات الخاضعة للتنظيم وأهم الملوثات غير المنظمة، وكذلك استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. والأداة متوفرة على الموقع الإلكتروني www.hbefa.net (تم الاطلاع عليها في يونيو ٢٠٢٠).

الفصل الرابع

التوزيع الزماني والمكاني للانبعاثات

٤-١ مقدمة

٤-١-١ تحدث الانبعاثات في أي مطار في أماكن وفترات زمنية مختلفة على نحو يتوقف على الغرض من المصدر وخصائصه التشغيلية. وعلى سبيل المثال، فإن المصادر الثابتة مثل المولدات أو وحدات التدفئة تبعث من مواقع ثابتة وقد تكون مستمرة أو متقطعة. وبالمقارنة، فإن انبعاثات الطائرات متحركة أكثر، وتحدث في مواقع مختلفة بالمطار وأوقات من اليوم ودرجات شدة مختلفة. وتحدث أيضاً انبعاثات الطائرات الصادرة خلال عمليات الإقلاع والهبوط خارج المطار وإلى ارتفاع الاختلاط المحلّي، الذي يفترض في كثير من الأحيان أنه على ارتفاع ٠٠٠ ١ متر أو ٠٠٠ ٣ قدم. وينتج عن هذا أن تشتت الانبعاثات لا يصبح توزيعاً زمانياً فحسب بل اعتباراً ثلاثي الأبعاد أيضاً.[١] وعادة ما تقتصر المصادر المتحركة على منطقة عامة ولكنها تتحرك داخل المنطقة وتتفاوت حسب الوقت من اليوم. ويجب القيام بتقدير هذا التفاوت في الموقع وكثافة الانبعاثات عن طريق توزيع زماني ومكاني للانبعاثات. ويصدق هذا حقاً إذا تعين إعداد نماذج التشتت كجزء من التحليل الشامل لنوعية الهواء. ووفقاً لشكل مصدر إعداد نماذج التشتت (مثل النقطة أو الخط أو الحجم أو المساحة) فإن معلومات مختلفة قد تكون مطلوبة لتوزيع الانبعاثات. ويبيّن هذا الفصل عملية توزيع الانبعاثات التي تحدث بالجوار العام للمطارات.

٤-١-٢ باختصار، تشمل أهداف تقدير توزيع الانبعاثات المتصلة بالمطارات ما يلي:

أ) تحديد (الوضع) المكاني لكثافات الانبعاثات،

ب) و/أو تحديد الانبعاثات الزمانية (الوقت من اليوم ووقت صدورها الإجمالي)،

ج) و/أو تقييم مناطق المطار التي تتضمن ملوّثات محددة،

د) و/أو تحديد مناطق "النقاط الساخنة" على ممتلكات المطار،

هـ) و/أو وضع المساهمة في إعداد نماذج التشتت.

٤-١-٣ ترتبط عملية توزيع الانبعاثات على نحو وثيق بعملية حصر الانبعاثات الإجمالية وإعداد نماذج التشتت، إذا تم ذلك. وبناء عليه، سترد إشارات متكررة إلى الفصل الثالث بدلاً عن تكرار المعلومات.

٤-١-٤ قد يحدث توزيع الانبعاثات في أوقات مختلفة خلال تحليل نوعية هواء المطارات أو قد لا يتم القيام به إطلاقاً. وعلى سبيل المثال، تكمل بعض المطارات هذا العمل عند إكمالها لحصر الانبعاثات، مدمجة بذلك جهد العمل. ولا تكمل مطارات أخرى توزيع الانبعاثات حتى يبدأ إعداد نماذج التشتّت. وسبب هذا هو أن حصر الانبعاثات يشمل الكتلة الإجمالية من المطار بأكمله، مقسّمة حسب المصدر وأنواع الملوّثات، وقد تكون كل ما هو مطلوب. وبدلاً عن ذلك، يضع حصر مخصص الانبعاثات زمانياً ومكانياً، موفّراً بذلك معلومات إضافية يمكن استخدامها لتحليل الاتجاهات أو المساهمة في إعداد نماذج التشتّت أو للتخفيف من توزيع الانبعاثات. وقد لا تتوافر أيضاً البيانات التفصيلية المطلوبة لهذا التحليل خلال حصر الانبعاثات الأولي، مما قد يؤدي إلى تأخير إكمال العمل.

---

١ تجدر ملاحظة أن الاصطلاح التخصيص كثيراً ما يستخدم خلال تحليل المطارات بدلاً عن الاصطلاح التوزيع. غير أن التخصيص له مغزى عالمي يمكن أن يكون معناه مختلفاً وهو بصفته تلك غير مستخدم في هذه الوثيقة.

٤-١-٥ عموماً، يتضمن توزيع الانبعاثات المتصلة بالمطارات الخطوات التالية:

أ) تحديد غرض التوزيع (مثلاً كثافة الانبعاثات أو تنوّع الانبعاثات أو إعداد نماذج التشتّت).

ب) جمع معلومات مكانية وزمانية تفصيلية محددة حسب المصدر.

ج) القيام بضمان الجودة للبيانات المكانية والزمانية.

د) تخصيص المصادر حسب المنطقة المحددة والوقت من اليوم ومدة التشغيل.

ه) حصر الانبعاثات على النحو المبيّن في الفصل الثالث حسب المصدر والمنطقة والوقت من اليوم.

و) تجميع النتائج والإبلاغ عنها.

٤-١-٦ إذا كان التطبيق النهائي للبيانات هو إعداد نماذج التشتت، فيحدث من ثم في كثير من الأحيان أن نهج تقدير التوزيع المكاني والزماني للانبعاثات تمليه متطلبات نموذج التشتت وبيانات الأرصاد الجوية المرتبطة بها. وعادة ما ستكون التركيزات عند إنتاج نموذج التشتت مطلوبة لبيان المتوسطات السنوية وكل ثماني ساعات و٢٤ ساعة مع عدد مرات تجاوز الحدود في تلك الفترات الزمنية ويناقَش ذلك في ٤-٢-٤ و٤-٢-٦ من هذا الفصل. وقد يتعيّن أيضاً أن يكون التمثيل الأرضي المكاني ملائماً لتقدير إقليمي أو وطني، وثمة حاجة لأن يتم بعناية تحديد الأساس الصحيح لكي لا تحدث تأخيرات.

٤-٢ اعتبارات التوزيع العام للانبعاثات

٤-٢-١ نظراً لأن توزيع الانبعاثات يحدد التمثيل المكاني للانبعاثات، فإن المهمة الأولى هي جمع البيانات التشغيلية ومعلومات الموقع لكل مصدر في المطار أو بالقرب منه. وسبق أن وُصفت في القسم ٣-٣ من الفصل الثالث الأنواع المعتادة من الملوّثات التي توجد مصادرها بالمطارات، ووصفت المصادر في القسم ٣-٤ من الفصل الثالث. وكثيراً ما يتم توزيع الانبعاثات بالارتباط مع جمع البيانات الأولي من أجل حصر الانبعاثات كما سبق بيانه في الفصل الثالث، ولكن هذا لا يحدث دائماً. وسبب القيام بتوزيع الانبعاثات كمهمة منفصلة هو أنه بالنسبة لحصر الانبعاثات، لا يهم موقع الإصدار ووقته ويمكن إكمال العمل بدون توزيع. والتوزيع، بوصفه هذا، يمكن إكماله في وقت لاحق إذا كان مطلوباً. وفي بعض المواقع، مثل الولايات المتحدة، قد يكون كل ما هو مطلوب هو حصر شامل للانبعاثات ما لم تحدث زيادات في الانبعاثات أو ما لم يتعين الاضطلاع بعمل رئيسي (مثل مطار أو مدرج أو ممر أرضي جديد). وفي هذه الحالات، قد يكون من المطلوب إعداد نماذج للتشتت وعادة ما يُكمَل توزيع الانبعاثات بالارتباط مع مهمة إعداد نماذج التشتت. وإذا كان من المعروف أن التوزيع سيكون مطلوباً عند الاضطلاع بحصر الانبعاثات، فمن الأكثر فعالية عموماً إكمال هذا العمل كجزء من المهمة الأصلية.

٤-٢-٢ يمكن للمعلومات الإضافية المطلوبة للتوزيع المكاني والزماني أن تتفاوت تفاوتاً كبيراً من مطار لآخر. وعلى سبيل المثال، يتوقف وقت السير لإحدى الطائرات على أشكال المدارج والممرات الأرضية وأطوال صفوف الانتظار وأشكال البوابات وطراز الطائرة. ولأن معظم الخصائص التشغيلية وخصائص الأداء للمطارات تختلف من واحد لآخر، سيختلف وقت طريقة السير ويجب تحديده على أساس كل حالة على حدة. وتشمل أفضل ممارسة استخدام بيانات محددة بشأن المطار متى أمكن ذلك (أي استخدام وقت السير الحقيقي لكل تحرّك). وتختلف أيضاً الجداول الزمنية للمطارات، مما ينتج عنه أن الفترات الزمنية التي تحدث فيها الانبعاثات فعلاً تكون مختلفة. ونتيجة لهذا فمن المطلوب جمع البيانات لكل مطار منفرد، على الرغم من أنه يمكن استخدام إجراءات وافتراضات مبسّطة في بعض الحالات.

٤-٢-٣ كثيراً ما تتطلب عملية جمع البيانات اتصال محلّل نوعية الهواء بهيئات متعددة للحصول على المعلومات المطلوبة. وترد في الجدولين ٤-١ و٤-٢ قائمة بالهيئات التي يمكن الحصول منها على هذه المعلومات، بحسب نوع مصدر الانبعاثات. ويجب، بقدر الإمكان، أن تكون البيانات محددة بحسب الوقت والمكان بالنسبة ليوم تشغيلي معتاد. وتحدث اختلافات في هذه البارامترات ولكن يصعب أحياناً تحديدها كمّياً مما ينتج عنه في معظم الأحيان تحليل تقدير الأحوال "المعتادة" أو أحوال "اليوم المتوسط". وتحدث أيضاً في بعض المطارات اختلافات موسمية ويجب أخذها بعين الاعتبار.

٤-٢-٤ يُخصَّص كل مصدر انبعاثات لفترة زمنية محددة حسب الموقع بالمطار. والأسلوب المتبع في معظم الأحيان هو استخدام فترات زمنية لساعة واحدة بدلاً من متوسط يوم يدوم ٢٤ ساعة بسبب متطلبات إعداد نماذج التشتت. وقد لا يعمل المصدر لساعة كاملة و، في حالة المصادر المتحركة، قد يغيّر مواقعه في المطار. ويجب أخذ هذا بعين الاعتبار خلال التوزيع. ويمكن أن يتم هذا عن طريق تخصيص الانبعاثات باستخدام كسور من فترة التقدير أو باستخدام عوامل. وسيتمخض أي من الأسلوبين عن النتيجة ذاتها.

الجدول ٤-١ — مصادر البيانات المكانية لتوزيع الانبعاثات

مصدر الانبعاثات	الهيئة التي يمكن الحصول منها على المعلومات
مدرج مطار/ممر أرضي/هندسة بوابة	الخرائط الصور الفوتوغرافية الجوية خرائط نسق المطار (دليل الطيران) ملفات نظم المعلومات الجغرافية عمليات المسح الميداني
المصادر الثابتة	الخرائط ملفات نظم المعلومات الجغرافية الصور الفوتوغرافية الجوية مكتب تشغيل المطار المشغّلون ذوو القواعد الثابتة مكتب تشغيل الصيانة عمليات المسح الميداني
المصادر المتحركة في منطقة التحركات المراقبة	الخطة الرئيسية التقارير عن الضوضاء مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة عمليات المسح الميداني شركات/وكلاء الخدمات الأرضية
المصادر المتحركة في المنطقة المفتوحة للجمهور	الخطة الرئيسية التقارير عن الضوضاء مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة عمليات المسح الميداني السلطات الإقليمية
المصادر غير القياسية	الخطة الرئيسية مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة مكتب سلامة المطار أمن المطار عمليات مسح المشغّلين ذوي القواعد الثابتة عملية المسح الميداني

الجدول ٤-٢ — مصادر البيانات الزمانية لتوزيع الانبعاثات

مصدر الانبعاثات	الهيئة التي يمكن الحصول منها على المعلومات
المصادر الثابتة	الخطة الرئيسية التقارير عن الضوضاء الجداول الزمنية لـ / تاريخ تسليم الوقود سجلات استخدام الوقود مكتب تشغيل المطار مكتب صيانة المطار عمليات مسح المشغّلين ذوي القواعد الثابتة
الطائرات	معلومات الجداول الزمنية لشركات الطيران الجداول الزمنية للمطارات سجلات الأبراج شركات الطيران الجدولة الزمنية للبضائع التقارير عن الضوضاء الملاحظات
المصادر المتحركة في منطقة التحركات المراقبة	الجدولة الزمنية للطائرات شركات الطيران مقدمو الخدمات الخطة الرئيسية مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة الملاحظات شركات الخدمات الأرضية
المصادر المتحركة في المنطقة المفتوحة للجمهور	الخطة الرئيسية الجدولة الزمنية للنقل الجماعي عمليات عد أماكن الوقوف الجداول الزمنية للعاملين الجدولة الزمنية للبضائع عمليات عد حركة المرور حدود السرعة قياس السرعة على الطريق مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة أمن المطار الملاحظات/المسح الميداني
المصادر غير القياسية	الخطة الرئيسية مكتب تشغيل المطار مكتب تشغيل الصيانة مكتب سلامة المطار أمن المطار عمليات مسح المشغّلين ذوي القواعد الثابتة عملية المسح الميداني

٤-٢-٥ عندما يكون الغرض هو توزيع الانبعاثات فقط، تخصَّص الانبعاثات لمناطق أو شبكات النشاط بالنسبة لكل مرة يتم فيها اختيار زيادة. وستتوقف المناطق أو الشبكات المحددة على المصدر ومنطقة تشغيله المعتادة (أي تميل الجرارات المستخدمة لدفع الطائرات إلى الخلف للبقاء في مناطق محددة حول بوابات المحطة). ويمكن أن تكون النتائج النهائية بالساعة أو اليوم أو الأسبوع أو الشهر أو السنة، ولكن كما سلف بيانه فإن الساعة الواحدة تُستخدم في معظم الأحيان بسبب احتياجات المساهمة في إعداد نماذج التشتت. ويمكن استخدام النتيجة النهائية لتقدير تغيّرات كثافة الانبعاثات في المطار أو "تحليل النقاط الساخنة" أو تفاوت الانبعاثات أو مقارنة الاتجاهات.

٤-٢-٦ عندما يكون الغرض هو إعداد نماذج التشتت، فإن المساهمات المطلوبة لنموذج التشتت تملي المكان الذي تخصَّص له الانبعاثات. والممارسات الشائعة هي التنبّؤ بتركيزات ساعة واحدة لتحديد أسوأ ساعة في اليوم أو أطول فترة متعاقبة من الساعات على نحو يتوقف على الملوّث والأنظمة القابلة للتطبيق. ويوفّر هذا التركيزات المحيطة المحلية التي يمكن استخدامها لتحديد الآثار على الصحة أو الرفاهية العامة. وكما سلف بيانه، فإن أكثر الفترات الزمنية شيوعاً هي ساعة واحدة وثماني ساعات و٢٤ ساعة وسنوياً. وفي مطارات الاتحاد الأوروبي، يتطلب التشريع عدد حالات حدوث مستويات التركيز (طوال الخطوات الزمنية المختلفة كما سلف الإعراب عنها، مثل ٢٤ ساعة/ثماني ساعات/ساعة واحدة في المتوسط) في السنة. وفي حين أن هذا يحدث خلال إعداد نماذج التشتت، فيجب أخذه بعين الاعتبار.

٤-٣ التوزيع المكاني[٢]

٤-٣-١ لا تزال تنطبق العملية الإجمالية التي نوقشت في الفصل الثالث. والاختلاف هو أن الحصر الإجمالي يتم تقسيمه إلى عمليات حصر أصغر محدّدة لموقع معيّن. وكما سبق أن بيّنته وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة، "لأن إعداد نماذج نوعية الهواء يسعى لتكرار العمليات الفيزيائية والكيميائية الفعلية التي تحدث في مجال حصر للانبعاثات، من المهم تحديد الموقع المادي للانبعاثات بأكبر قدر ممكن من الدقة. وفي وضع مثالي، سيكون الموقع المادي لجميع الانبعاثات معروفاً بالضبط. غير أنه في الواقع لا يحدد التخصيص المكاني للانبعاثات في أي حصر لإعداد النماذج سوى الموقع الفعلي التقريبي للانبعاثات." والتقريب المطلوب ليس هو مشكلة للولايات المتحدة وحدها، ولكنه يحدث في جميع المطارات. ويصدق هذا تماماً على المطارات التي تتفاوت فيها الأنشطة من يوم إلى يوم. غير أنه لا يزال يمكن تحديد كثافة الانبعاثات المكانية من أجل المتوسط الإجمالي. وتبدأ العملية أولاً بتقرير المناطق أو الخلايا أو النطاقات التي يتعين فيها تخصيص الانبعاثات، على نحو يتوقف على الغرض المقصود من النتائج ومتطلبات النموذج المستخدم. ويتوقف حجم المناطق أو الخلايا أو النطاقات أيضاً على المنطقة التشغيلية للمصدر، كما سلف ذكره. ويمكن القيام بالتوزيع عن طريق إنشاء مجموعة من الخلايا المتشابهة الشكل في شتى أنحاء المطار أو عن طريق تحديد مجالات نشاط كل مصدر. وكثيراً ما تُستخدم الخلايا بالارتباط مع خرائط كثافة الانبعاثات لبيان التغيّرات في كثافة الانبعاثات الإجمالية بجوار المطار. وهذا مساعد قوي لاضطلاع مخطط المطار بتقييم أماكن حدوث "النقاط الساخنة" ويساعد على تقرير ما إذا كانت ثمة حاجة لتدابير مراقبة. والتمثيل القائم على الخلية يناسب بدقة تحليل التشتت حيث ستُستخدم مستويات التركيز التي أُعدَّت بها النماذج بالاقتران مع خرائط استخدام الأراضي، خرائط السكان، نوع المساكن، النطاقات الحساسة، الخ.

٤-٣-٢ من جهة أخرى، فإن التوزيع بحسب مناطق النشاط يسمح للمطار بتقييم الانبعاثات المتصلة بتلك الأنشطة المعيّنة. وهذه المناطق للنشاط يمكن أن تكون منطقة البوابة، ميدان الطيران، أماكن الوقوف، شبكة الطرق، مناطق التفريغ، الخ. ومثلما سبق، فإن دقة تخصيص كل منطقة تتوقف على كيفية إمكان القيام بصورة حسنة بتمييز المصدر. وسيتيح كل مصدر للانبعاثات تمييز تلك المنطقة ومقارنة البرامج البديلة لتخفيض هذه الانبعاثات بالنسبة للنشاط المحدد. وفي حالة إعداد نماذج التشتت يمكن أن تكون المناطق متصلة بتقييم أساليب تخفيض الآثار المحتملة على الصحة أو الرفاهية العامة على المستوى المحلّي.

٤-٣-٣ التوزيع المكاني بسيط بالنسبة للمصادر الثابتة ويمكن إعداده بسهولة. وانبعاثات المصادر الثابتة يحدّدها وقت الاستخدام ولكنها لا تتحرّك. وتسبّب المصادر المتحركة صعوبات لأن المصدر المتحرك قد يعبر عدة حدود مكانية مرسومة ما لم تحدَّد خصيصاً منطقة نشاط لهذا المصدر. ويصدق هذا بصفة خاصة على معدات المساندة الأرضية المتحركة حيث قد تكون المبادئ التوجيهية ضرورية لضمان توزيع مكاني موثوق ومتسق. وهذا تنتج عنه توليفة من البارامترات الزمانية والمكانية. ويتمثل نهج شائع في تحديد الوقت في خلية معيّنة باستخدام مؤشر الانبعاثات وتخصيص الانبعاثات لتلك الخلية. وقد ورد وصف هذا الإجراء في الفصل الثالث. ويجب إكمال هذه العملية بالنسبة لجميع

٢ في سياق هذا الدليل، فإن الاصطلاحان "تخصيص" و"توزيع" يُستخدمان بالتبادل.

المصادر المتحركة التي تدخل المنطقة المحددة وجمعها مع المصادر الثابتة في المنطقة. وتنتج عن حاصل جمع كل المصادر، بالنسبة لكل ملوّث محدد، كثافة الانبعاثات لتلك المنطقة المحددة.

٤-٣-٤ من المهم تذكّر أن التوزيع المكاني يوفّر معلومات عن كثافة الانبعاثات. ويقتضي تنوّع الانبعاثات استخدام التوزيع الزماني، ويوفّر الاثنان مجتمعان للمحلّل وسيلة أقوى حتى من ذلك.

٤-٤ التوزيع الزماني

٤-٤-١ يوفّر التوزيع الزماني تدبيراً لتنوّع الانبعاثات، حسب المدة. وكما بيّنت وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة، "لأن إعداد نماذج نوعية الهواء يحاول تمثيل العمليات الفيزيائية والكيميائية الفعلية عند حدوثها طوال فترة زمنية محددة، من المهم أن يكون التخصيص الزماني للانبعاثات دقيقاً بقدر الإمكان. ويمكن اعتبار التخصيص الزماني حساباً لتنوّع الانبعاثات بمرور الوقت. وأبسط تخصيص زماني هو لمصدر الانبعاثات ذي الحالة الثابتة الذي يصدر باستمرار انبعاثات بنفس المعدّل طوال الوقت. غير أنه في الأحوال الفعلية، فإن مصادر الانبعاث ذات الحالة الثابتة نادرة للغاية. وعوضاً عن ذلك، في الأحوال الفعلية، قد لا تعمل مصادر الانبعاثات إلا في الشتاء أو لا تعمل أيام الأحد أو قد يبلغ نشاطها الذروة خلال ساعات معيّنة من اليوم. وتتيح التخصيصات الزمانية إعداد نماذج صحيحة لتنوّع الانبعاثات خلال الفترات المنشودة لإعداد النماذج. وستتفاوت الفترات المنشودة لإعداد النماذج على نحو يتوقف على الغرض من الحصر."

٤-٤-٢ يتطلب التوزيع الزماني أن يكون الوقت من اليوم للنشاط محدداً. وعلى سبيل المثال، قد تعمل وحدة للتدفئة باستمرار وستكون الانبعاثات ثابتة لليوم بأكمله ويمكن تخصيصها بسهولة طوال اليوم. وسينتج عن هذا أن عوامل النشاط تكون هي نفسها لكل ساعة وأن كثافة الانبعاثات لهذا المصدر الثابت تكون ثابتة. غير أن المصادر المتحركة مثل الطائرات ليس لها نشاط مستمر وكثيراً ما لا يستمر لساعة كاملة. وهذا يجعل التوزيع أصعب. ويفاقم هذا تحرك المصدر بينما مناطق محددة حسبما سبقت مناقشته. وبالنسبة لهذه المصادر، يجب العناية بتحديد أوقات الاستعمال حسب النطاق أو المنطقة المحددة. وفي الحالة المفرطة، قد تكون ملامح النشاط مطلوبة لكل طريق رئيسي لسير الطائرات وتعتبر نطاقاً منفصلاً. ويمكن ربط الوقت الذي يقضيه مصدر في نطاق بسرعة المصدر المتحرك والمسافة المقطوعة في كل منطقة محددة، أي:

الوقت المقضي في النطاق = المسافة المقطوعة في النطاق/سرعة المصدر المتحرك.

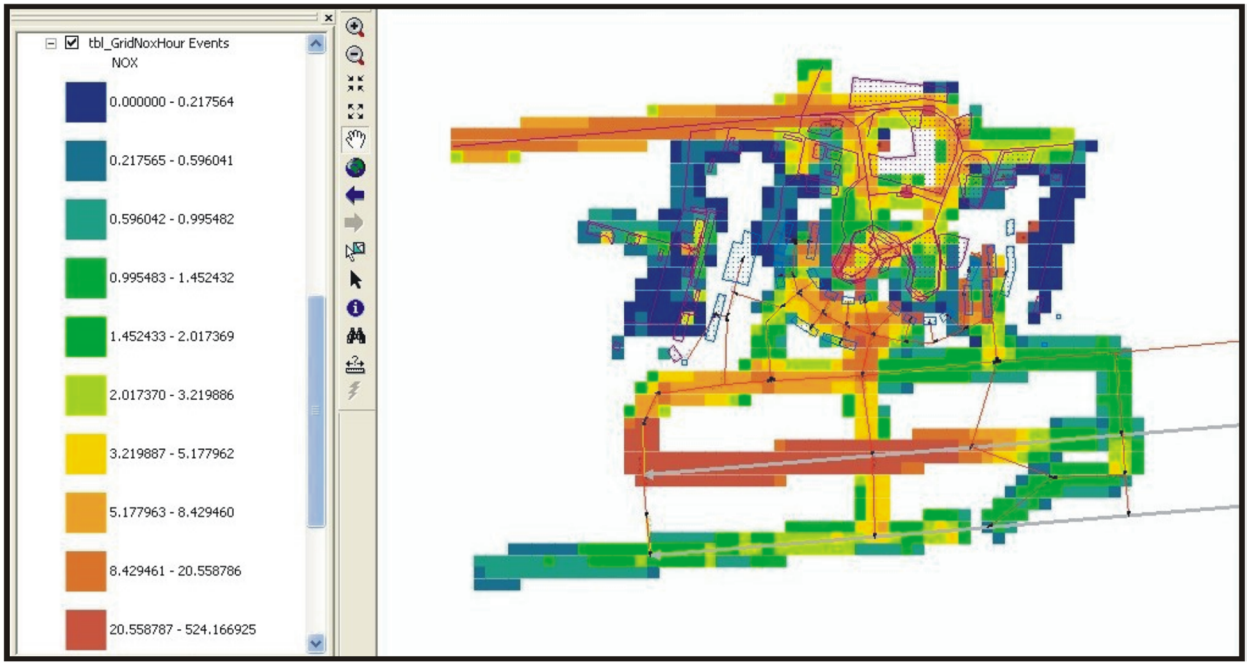
٤-٤-٣ إذا تفاوتت السرعة في النطاق، قد تحتاج هذه العملية إلى مزيد من التقسيم وتحديد المجموع. وكثيراً ما تُفتَرض سرعة متوسطة بغية تبسيط العملية. وكذلك، يجب تحديد المسار الذي يقطعه المصدر المتحرك حينما يكون في النطاق. وعندما يتعلّق الأمر بطرق السيارات أو الممرات الأرضية أو المدارج أو الطرق المحددة تكون العملية محددة تماماً. وعندما يكون المسار غير محدد تماماً، يجب وضع تقديرات تقريبية. وعلى سبيل المثال، قد يُفترض أن سيارة تسير في موقف تقطع نصف المسافة الممكنة الإجمالية عند الدخول ثم نصف المسافة الممكنة الإجمالية خلال الخروج. وبمجرد تحديد الوقت في المنطقة المحددة، فإن عملية تقدير الانبعاثات تصبح تلك المبيّنة في الفصل الثالث.

٤-٤-٤ يمكن إدراك أن صعوبات أخرى قد تحدث بالنسبة لمصادر ليس لها مسار محدد إطلاقاً. وفي هذه الحالات قد يقتضي الأمر ملاحظة لتحديد وقت تمثيلي. ويمكن أيضاً استخدام إجراء مبسّط يستند إلى دراسات سابقة لأنواع معيّنة من المعدات (مثل معدات المساندة الأرضية). والبيانات من هذا النوع معروضة في المرفق ٢ بالفصل الثالث. وبالنسبة للمصادر الثابتة الصغرى مثل إزالة الجليد والتدريب على الإطفاء واختبار المحركات، يمكن إجراء بعض عمليات التبسيط لتخصيص الانبعاثات زمانياً ومكانياً. (مثلاً، يمكن استخدام بيانات الأرصاد الجوية لتحديد وقت إزالة الجليد.

٤-٥ استخدام نماذج الحاسوب

٤-٥-١ كثيراً ما تتيح نماذج الحاسوب لنوعية الهواء التي تم تطويرها من أجل تحليلات المطارات المدخلات والمخرجات المكانية والزمانية على السواء كعناصر لقوائم حصر الانبعاثات. وتشمل مثل هذه النماذج أداة التصميم البيئي للطيران (AEDT) ونظام نمذجة الانبعاثات والتشتت (EDMS) (إدارة الطيران الاتحادية – الولايات المتحدة) ومحاكاة لاغرانج للأيروسول من أجل المطارات (أوروبا) (LASPORT) ونظام لإعداد نماذج التشتت في الجو (ADMS) ودراسات نوعية هواء المطارات المحلي – المشهد القوسي (يوروكنترول).

٤-٥-٢ خلال إعداد البيانات المدخلة من أجل هذه النماذج، ستكون العملية المبيّنة آنفاً مطلوبة في كثير من الأحيان نظراً لأن النماذج قد لا تكون لها خوارزميات لجميع المصادر تتيح التحديد المكاني والزماني. وينبغي أن يسهّل نموذج قائم على نظام المعلومات الجغرافية عملية التوزيع المكاني من خلال توصيله البصري إلى حدّ كبير، ويرد في الشكل ٤-١ مثال مأخوذ من دراسات نوعية هواء المطارات المحلي – المشهد القوسي القائمة على المشهد القوسي (الصيغة السابقة ودراسات نوعية هواء المطارات المحلي Open-ALAQS). ولدى محاكاة لاغرانج للأيروسول من أجل المطارات (أوروبا) ونظام نمذجة الانبعاثات والتشتت أيضاً قدرات لنظام المعلومات الجغرافية. ومن الجدير بالملاحظة أن أي برنامج تخطيطي قائم على توصيل المستعمِل سيدعم التحديد المكاني بمزيد من السهولة و، مع المساهمة الملائمة، سيساعد في التوزيع الزماني. وينبغي أن يطلع المستعمِل على دليل المستعمِل النموذجي الملائم للحصول على مزيد من المعلومات.



الشكل ٤-١ — مثال لحصر ثنائي الأبعاد للانبعاثات الأرضية المكانية

٤-٦ تشكيل البيانات والإبلاغ عنها

٤-٦-١ كثيراً ما يكون من الضروري إتباع نهج من نوع المصفوفة عند الإبلاغ عن نتائج الانبعاثات المكانية والزمانية. ويبيّن الشكل ٤-٢ أحد الأمثلة (وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة). وفي هذا الشكل، من الممكن أن يُرى أن المصدرين 23 و24 هما مصدران للانبعاث المستمر بينما يمثّل المصدر 25 مصدراً يتسم بتفاوت زماني للانبعاثات. ومن هذا النوع من التحليل، يمكن القيام بسهولة بتحديد الانبعاثات لأي ساعة. وعلى سبيل المثال، ينبعث من المصدر 24 ٤١٧ رطلاً من الساعة الثانية إلى الساعة الثالثة بعد الظهر. وقد يُتَّبع أيضاً نفس هذا النهج من نوع المصفوفة للإبلاغ المكاني أو لكل مصدر منفرد في جدول واحد، وهي توليفة من البيانات المكانية والزمانية. ويمكن الحصول على مثل هذه المصفوفات كناتج في بعض النماذج.

٤-٦-٢ بمجرد أن تكون البيانات في هذا الشكل، يمكن أيضاً استخدام الرسوم البيانية لعرض النتائج وتحديد الاتجاهات بمزيد من السهولة. وعلى سبيل المثال، فإن الشكل ٤-٣ هو الاختطاط البياني للمصدر 25 المبيّن في الشكل ٤-٢. ويمكن رؤية أن المصدر يُستخدم بعد الظهر ولكن يُستخدم أقل من ذلك كثيراً في الأوقات الأخرى من اليوم. ويمكن استخدام هذا للتوزيع المكاني ومع الرسوم البيانية ثلاثية الأبعاد أيضاً، مما ينتج عنه فهم أسهل كثيراً من جانب المستعرِض.

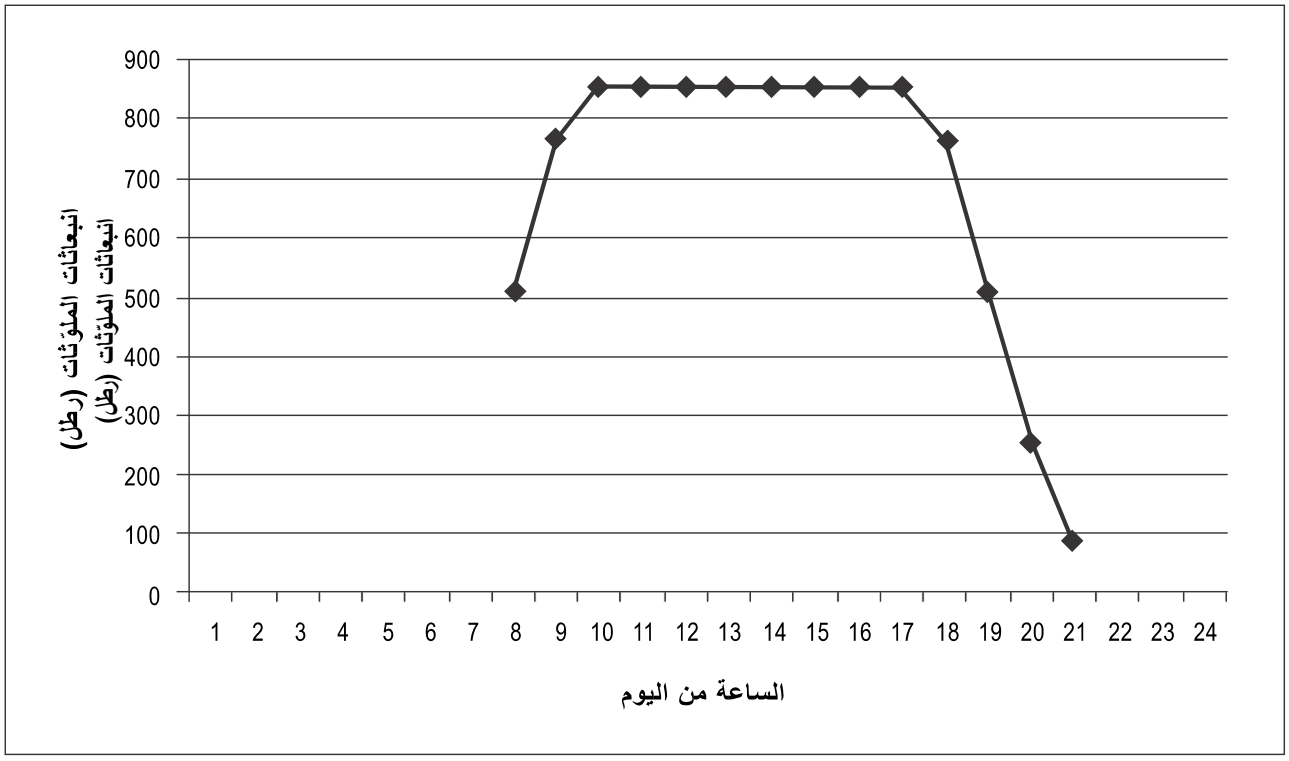
٤-٦-٣ قد تُستخدم العروض البيانية لإيضاح التوزيع الأرضي المكاني، وعادة ما يتم ذلك في شبكات كثافة ثنائية الأبعاد، لكن يمكن أيضاً تصوّر استخدام التقنيات ثلاثية الأبعاد بعناية بالنسبة لمصادر مثل الطائرات حسبما هو مبيّن في الشكل ٤-٤.

الساعة	…	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	…	المجموع
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
23	…	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	…	10005
24	…	417	417	417	417	417	417	**417**	417	417	417	417	417	417	417	…	**10008**
25	…	508	763	847	847	847	847	847	847	847	847	763	508	254	85	…	9996
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

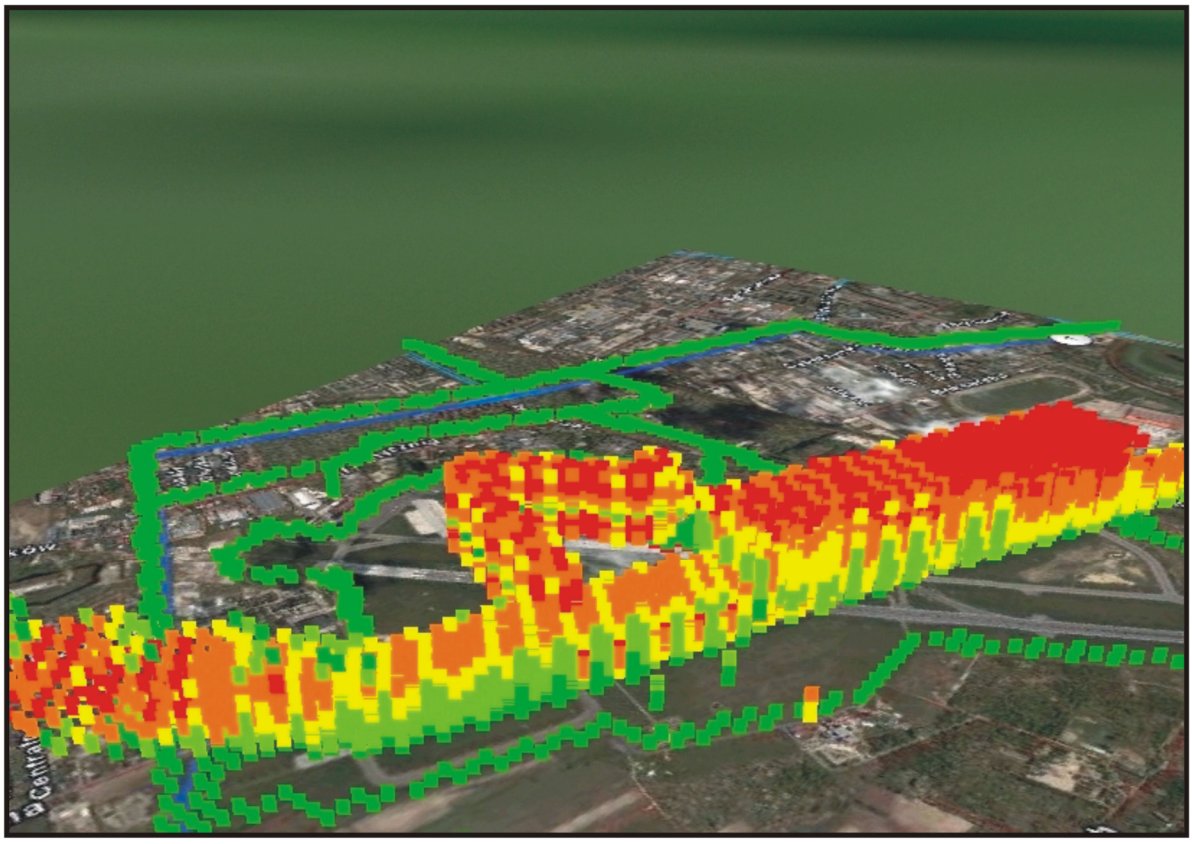
المصادر

الأرطال الصادرة لكل ساعة

الشكل ٤-٢ — المجموعة المصنّفة من الملامح النهارية



الشكل ٤-٣ — الاختطاط البياني للملامح النهارية



الشكل ٤-٤ — مثال لحصر ثلاثي الأبعاد للانبعاثات الأرضية المكانية

الفصل الخامس

إعداد نماذج التشتّت

٥-١ مقدمة

٥-١-١ في الفصل الثالث، نوقشت إرشادات بشأن تقدير الكتلة المنبعثة بالنسبة للملوّثات المختلفة. غير أن الكتلة الإجمالية المنبعثة لا تفسِّر الاختلاط في الغلاف الجوي، الذي يحدّد التركيزات المحلية، أو كمية الكتلة المختلطة في الهواء في أي وقت معيّن. ومن المطلوب مزيد من إعداد النماذج لتقدير هذه التركيزات المحيطة المحلية.

٥-١-٢ إن أي مقدار ضئيل من المادة انطلق من مصدر في الغلاف الجوي الحر سينقله مجال الريح المتوسط وسيشتّته اضطراب الغلاف الجوي. ويُشار إلى هذه العملية باسم التشتّت في الغلاف الجوي. ويمكن تعريف التشتّت بمزيد من الصرامة[١] بوصفه "انتثار قيَم توزيع تواتر من متوسط." ويتبع من ثم أن إعداد نماذج التشتّت في الغلاف الجوي هو المحاكاة الرياضية لعملية الانتثار أو الاختلاط في الغلاف الجوي المحيط. والمقادير الضئيلة من المواد التي يتم تقييمها في معظم الأحيان هي ملوّثات للغلاف الجوي خاضعة للتنظيم وقد حُدِّدت في القسم ٣-٤ من الفصل الثالث، بالنسبة لمصادر المطارات. وفي حساب التشتّت المتصل بالمطار، يتم إعداد نماذج الاختلاط في الغلاف الجوي لهذه المقادير الضئيلة من المواد أو الملوّثات المنبعثة من مصادر محلية بالاستناد إلى مبادئ علمية ويتم التنبؤ بتوزيعات التركيز الناتجة عن ذلك (بالقرب من الأرض عادة). وتشكّل النتائج، أو التركيزات المتنبأ بها في الغلاف الجوي، أساس دراسات تأثير نوعية الهواء المحلي وتُستخدم لبيان الامتثال للمقتضيات و/أو المعايير المطلوبة.

٥-١-٣ يعرض هذا الفصل الحاجة لإعداد نماذج التشتّت بالقرب من المطارات، ويقدّم لمحة موجزة لنماذج التشتّت ويلخّص الممارسات المعتادة التي تحدث خلال إعداد نماذج التشتّت في المطارات ويبحث كيفية استخدام التركيزات المتنبأ بها لتقدير الآثار. وقد أُعد الفصل بحيث يتابع ما ورد في الفصل الثالث، أي، سيناقَش إعداد النماذج المطلوب فيما يتعلق بالنهج البسيط والنهج المتقدم والنهج المتطوّر.

٥-٢ المتطلبات والدوافع الخارجية

٥-٢-١ يناقش هذا القسم الحاجة إلى إعداد نماذج التشتت والدوافع الخارجية التي تتسبب في هذه الحاجة وتؤثر عليها في الوقت ذاته. وكما هو مبيّن في التفصيل في الفصل الثاني، فإن تقديرات نوعية الهواء من أجل الأعمال المقترحة في المطارات كثيراً ما تكون ضرورية للامتثال لما يلي:

أ) تدهور نوعية الهواء الذي يؤدي إلى هوامش مخفّضة في مواجهة النظم القائمة.

ب) زيادة الوعي بالآثار الصحية، التي تؤدي إلى إصدار نظم جديدة، بما في ذلك إضافة أنواع جديدة من الملوّثات.

ج) القيود على التطوير الناتجة عن الحدود التي تفرضها الحاجة للوفاء بمعايير نوعية الهواء.

د) المزيد من توقعات الجمهور بصدد مستويات نوعية الهواء.

---

١ Merriam-Webster Online Dictionary, http://www.merriam-webster.com/dictionary/dispersion (accessed June 2020).

هـ) ممارسات العلاقات العامة التي تقوم بها جماعات الضغط لصالح المطارات وجماعات الضغط البيئية.

و) المتطلبات التشريعية للبلدان والأقاليم المختلفة.

٥-٢-٢ سبقت مناقشة إعداد نماذج الانبعاثات للوفاء بهذه المتطلبات. وإعداد نماذج الانبعاثات، وهو شرط مسبق لإعداد نماذج التشتت، يتيح استعراض تغيّر الانبعاثات زمانياً ومكانياً. غير أن الآثار المباشرة تتعلق أكثر بالتركيزات المحيطة وليس كتلة الانبعاثات الصادرة فحسب. ويتم تقييم مستويات نوعية الهواء المحيط والآثار الحقيقية والآثار الصحية باستخدام التركيزات المحيطة على نحو أفضل من استخدام الكتلة المنبعثة. وكما سلف بيانه، فإن اختلاط الانبعاثات في الغلاف الجوي تنتج عنه تركيزات محيطة تستخدم في معظم الأحيان لتحديد الآثار المحلية. ويمكن أن تكون القياسات، المبيّنة في الفصل السادس، مكلفة للغاية، وتحدد فقط التركيز بنقطة في المكان بالنسبة لكل قياس ولا تكشف بسهولة عن المساهمة الجزئية من كل مصدر مساهم. ويتيح إعداد نماذج التشتت تقييم نوعية الهواء المحلي بتكلفة معقولة. وبصرف النظر عن ذلك، فإن الحاجة إلى إعداد نماذج التشتت هي لتحديد الاختلاط المحيط كجزء من عملية تحليل شامل.

٥-٢-٣ فيما عدا الحاجة الظاهرة لإعداد نماذج التشتت، كثيراً ما يلزم التشريع أو الأوامر باستخدام عملية التقدير. وقد تحدّد أيضاً الأنظمة الناجمة عن هذه المتطلبات القانونية الكيفية التي يجب أن ينجز بها إعداد نماذج التشتت أو كيفية أخذ المتغيرات بعين الاعتبار. ويُحَث المحلّل على استعراض أي متطلبات ذات صلة لضمان حدوث العملية على النحو الإلزامي.

٥-٣ مفاهيم التشتت العامة

٥-٣-١ يقدم هذا القسم لمحة موجزة للمفاهيم الفيزيائية الأساسية التي يتضمنها إعداد نماذج التشتت والعملية المطلوبة. وتُدرج مراجع ليتاح للأطراف المهتمة استكشاف هذه المفاهيم بتعمّق أكثر مما هو معروض هنا. ومن المنتظر أن يؤدي فهم كيفية عمل النماذج إلى استخدام النماذج بصورة ملائمة أكثر.

٥-٣-٢ عند انبعاث مقدار ضئيل من عنصر أو ملوّث من أحد المصادر، فإن مصيره النهائي تقرره خصائص الملوّث وخصائص المصدر وحركة الغلاف الجوي والطوبوغرافيا المحلية. ويؤدي كل من هذه البارامترات دوراً هاماً في التركيزات المحلية. وأي ملوّث يُصدَر في شكله النهائي يسمّى ملوّثاً أولياً. والملوّثات الأولية البطيئة للغاية في التفاعل مع الغازات الأخرى في الغلاف الجوي تسمّى ملوّثات سلبية. والملوّثات الأولية مثل أول أكسيد الكربون كثيراً ما تسمّى خاملة بسبب وقت تفاعلها الطويل للغاية ووقت بقائها في الغلاف الجوي. وتتكوّن الملوّثات الثانوية في الغلاف الجوي عندما تتعرّض السليفة المنبعثة لتفاعلات كيميائية أو عمليات تحويل في الغلاف الجوي وتكوّن ملوّثاً جديداً. ويُطلق على الملوّث اصطلاح ثانوي نظراً لأن التكوين النهائي ليس كما أُطلق من المصدر. والأوزون هو ملوّث ثانوي.

٥-٣-٣ يؤثر مصدر الملوّث على التركيزات المحلية بسبب موقع الإصدار ومعدل انسياب الكتلة الإجمالي وديناميات هواء العادم بسبب التأثير على التشتت في الغلاف الجوي بالإضافة إلى حركة الغلاف الجوي. وتحدد حركات الغلاف الجوي الاتجاه العام الذي تسير فيه الانبعاثات وهي مسؤولة أولياً عن الاختلاط بالغلاف الجوي المحيط (التشتت)، منشئة بذلك "خيطاً" (أو "نفثة") من الملوّث. واتجاه الخيط تحدده الحركة واسعة النطاق، مثل انسياب الريح المتوسط، في حين أن الاختلاط يتصل أكثر بدوامات ضيقة النطاق في الانسياب، يُشار إليها بالاضطراب. وبالمثل، فإن خصائص التضاريس وهياكل المباني المحلية سيكون لها تأثير على تركيزات المنطقة المحلية بسبب التغيرات في أنماط الريح وتوليد الاضطراب. وتؤثر جميع هذه البارامترات على التشتت في الغلاف الجوي وتؤدي إلى توزيع ثلاثي الأبعاد، يتوقف على الزمن عموماً لتركيز المقدار الضئيل من المادة المنبعثة (الملوّث). وبالمثل، فإن العمليات الأخرى المحددة بالنسبة للمادة قد يكون لها تأثير مثل الترسّب الجاف والرطب.

٥-٣-٤ يمكن تجميع الكميات التي تحدد التشتت في الغلاف الجوي الذي ينتج عنه تركيز محلي على النحو التالي:

أ) الكمية ١ بارامترات المصدر (الموقع، الشكل، ديناميات الهواء العادم).

ب) الكمية ٢ بارامترات الانبعاثات (قوة انبعاثات كل مقدار ضئيل من المادة لكل مصدر).

ج) الكمية ٣ بارامترات المادة (مثل خواص التحويل أو الترسّب).

د) الكمية ٤ بارامترات الغلاف الجوي (مثل سرعة الريح واتجاه الريح وخواص الاضطراب ودرجة الحرارة).

ه) الكمية ٥ بارامترات التضاريس (مثل خشونة السطح، ملامح التضاريس، العوائق).

٥-٣-٥ البارامترات الواردة أعلاه ليست كلها مستقلة ومعظم البارامترات تتوقف على الوقت. ومن الواضح أن مجموعة البارامترات تشمل معلومات أكثر مما هو مطلوب لحسابات الانبعاثات، حتى إذا جرى تخصيص الانبعاثات على النحو المبيّن في الفصل الرابع.

٥-٣-٦ في المطارات، يمكن تجميع المصادر ذات الصلة على النحو التالي:

أ) المصدر ١ الطائرات، بما في ذلك وحدات الطاقة الإضافية.

ب) المصدر ٢ مصادر الخدمات الأرضية للطائرات (مثل معدات المساندة الأرضية، تزويد الطائرات بالوقود، مركبات منطقة التحركات المراقبة).

ج) المصدر ٣ المصادر الثابتة ومصادر المنطقة (مثل مولدات الكهرباء، التدريب على الإطفاء).

د) المصدر ٤ حركة الدخول إلى المطار (مثل سيارات المنطقة المفتوحة للجمهور).

٥-٣-٧ منهجيات التشتت المتبعة هي بالطبع فقط من أجل تلك المصادر المتضمنة مباشرة في النموذج. وتضيف المساهمات الإقليمية أو الخلفية أيضاً إلى التركيز المحلي الإجمالي لتنتج التركيز الإجمالي. والتركيز الإجمالي مطلوب للمقارنة بالمعايير أو المستويات القابلة للتطبيق. ويمكن أن تكون هذه المصادر الخلفية مهمة ومستمدة من مصادر على مسافات مختلفة من المطار. ويتعين النظر في كيفية حساب المصادر الخلفية والتركيزات الناتجة عنها بالاستناد إلى التقسيم المكاني لمنطقة إعداد النموذج ومصادر البيانات التي يتعين استخدامها، مثل محطات الرصد المحيطة القائمة منذ أجل طويل. ويتباين هذا مع تقديرات الضوضاء، حيث عادة ما تكون مساهمة المطار هي المكوّن الغالب إلى حد بعيد. ولحساب التركيز الإجمالي يجب أن يُضاف التركيز الخلفي إلى التركيز الذي تنبّأت به النماذج. وينتج عن هذا ما يلي:

$$c_t=c_s+c_b$$ المعادلة ٥-١

حيث:

c = التركيز وتمثّل الحروف الصغيرة t وs وb المجموع والمصدر والخلفية، على التوالي.

٥-٣-٨ يمثل الجمع في المعادلة ٥-١ التركيز بنقطة في المكان من جميع المصادر وهو القيمة المقارنة بمعايير نوعية الهواء المحيط القابلة للتطبيق. ويُلاحَظ أن التركيز، c، هو محدَّد حسب الملوّث، أي لا يمكن إضافة ملوّثات من أنواع مختلفة.

٥-٣-٩ تشمل المفاهيم والعناصر الأساسية لنمذجة تشتت الهواء ما يلي:

(أ) تحديد النماذج وخيارات؛

(ب) خصائص إطلاق مصدر الانبعاثات؛

ج) بيانات الأرصاد الجوية

د) تخصيص الأمكنة؛

ه) الملامح الزمانية؛

و) البيانات الطبوغرافية؛

ز) اجتراف سفلي للأبنية؛

ح) مواقع الاستقبال؛

ط) تحويل أكاسيد النيتروجين إلى لتحويل ثاني أوكسيد النتروجين؛

ي) التركيزات الخلفية.

٥-٣-١٠ تم تطبيق نهوج عديدة لإعداد نماذج التشتت في مختلف المطارات في شتى أنحاء العالم للتنبؤ بالتركيزات المحلية. ومع استمرار العلم في التطوّر، ستتطور نماذج المطارات. وسيركز هذا الفصل، بصفته تلك، على المنهجيات الشائعة المستخدمة حالياً بدلاً عن التركيز على نماذج محددة.

٥-٣-١١ قد تتفاوت الصيغة الفعلية لهذه النماذج. ولمساعدة القارئ في إحراز فهم أشمل لمنهجيات نماذج التشتت، تناقَش باختصار صيغ النماذج في المرفق ١. وترد في المرفق ٢ قائمة بنماذج الحاسوب شائعة الاستعمال لإعداد نماذج التشتت في المطارات.

٥-٤ مدخلات النماذج المطلوبة

٥-٤-١ يقدم هذا القسم معلومات عن المتغيرات المطلوبة للقيام بتحليل للتشتت. وفي حين أن هذه هي لمحة عامة لتوفير فهم للقارئ، فإن المتغيرات المطلوبة ستختلف حسب أسلوب إعداد النماذج (البسيط، المتقدم، المتطوّر) والنموذج المحدد المستخَدم. وعلاوة على ذلك، فإن كل مطار فريد وهذا التنوّع البالغ والاختلافات في توافر البيانات والمُنتَج النهائي المنشود هي أمور تنتج عنها مجموعات بيانات مختلفة لكل مطار.

المعلومات عن مصادر الانبعاثات

٥-٤-٢ يتضمن هذا القسم لمحة موجزة عن المعلومات التي ستكون مطلوبة لإكمال تحليل التركيز.

مصادر انبعاثات المطارات

٥-٤-٣ مصادر تلوّث الهواء في المطارات عديدة ومتنوعة. وبغية القيام بإعداد نماذج التركيز، لكل مصدر تتم دراسته، يجب أن تتوافر قوة انبعاثات كل من المواد التي تُعد نماذجها. ويرد في الفصل الثالث وصف تفصيلي لمصادر الانبعاثات الموجودة في أي مطار.

الاعتبارات الزمانية والمكانية للمطارات (مثل الممرات الأرضية، المدارج، البوابات)

٥-٤-٤ عند إجراء حصر للانبعاثات، لا تكون التخصيصات المكانية والزمانية مطلوبة أو مكتملة دائماً. غير أن التخصيصات المكانية والزمانية لها أهمية رئيسية خلال إعداد نماذج التشتت نظراً لأنه سيتم حساب التركيزات المحلية. وتعتمد هذه التركيزات المحلية على المسافة إلى مصدر ووقت تشغيله. ولا يتطلب هذا بيانات الانبعاثات فحسب، بل أيضاً تفاصيل واضحة بشأن موعد ومكان وطريقة حدوث الانبعاثات. وقد سبق أن نوقش اختلاف المطارات المكاني والزماني في إطار توزيع الانبعاثات في الفصل الرابع.

٥-٤-٥ كثيراً ما يعتمد إعداد نماذج التشتت على الإحداثيات الديكارتية (x, y, z) حيث أن x وy هما المسافتان الأفقيتان وz هي المسافة الرأسية من نقطة معطاة محددة. وتتمثل ممارسة شائعة، للنقل إلى الخرائط بسهولة، في تحديد المحور الإيجابي y في اتجاه الشمال. ومن المطلوب فهم متعمّق لتشغيل المطار من أجل إعداد نماذج التشتت بصورة مفصّلة (أنظر الفصل الرابع). وبالنسبة لكل النهوج ما عدا النهج البسيط، يجب تحديد مواقع جميع المصادر (أنظر الفصل الرابع) ومن أجل إعداد نماذج التشتت يجب إضافة مكوّن جديد، هو موقع الاستقبال، حسبما يناقَش في ٥-٤-١٦. ويجب تحديد موقع الاستقبال بدقة، كما هو الحال بالنسبة للمصدر، مما يؤدي إلى استخدام إحداثيات مثل نظام الإحداثيات الديكارتية. ويقرر موقع الاستقبال المحدد المكان الذي سيتم فيه التنبؤ بالتركيز باستخدام نماذج التشتت. ويكون هذا في معظم

الأحيان بالمواقع التي كثيراً ما يستخدمها البشر. وتستند بعض نماذج التشتت إلى فترات زمنية محددة نظراً لأن بارامترات تشتتها تتغيّر بمرور الوقت بعد الإطلاق. ويكون هذا في كثير من الأحيان بارامتراً داخلياً، شفافاً للمستعمل، ويمكن مواءمته، بالاستناد إلى الاحتياجات للمخرجات، لمقارنته بمعايير نوعية الهواء المحيط.

عوامل الانبعاث

٥-٤-٦ عوامل الانبعاث مطلوبة لتحديد معدل إطلاق الانبعاثات من كل مصدر. وعوامل الانبعاث محددة بالنسبة لكل من المصدر والملوّث. ويحال القارئ إلى الفصل الثالث من أجل مناقشة كاملة لعوامل الانبعاث.

الأرصاد الجوية

٥-٤-٧ الأرصاد الجوية هي مدخل أساسي لحساب التشتت. وبدون مدخل للأحوال الجوية المحلية، لا يمكن القيام بإعداد نماذج التشتت إلا في حالات بسيطة. ومن أجل إعداد كل النماذج المتسمة بأي قدر من التطوّر، يجب معرفة بارامترات لطبقة الحد الكوكبي. وكما هو الحال بالنسبة للمتغيرات الأخرى، يمكن أن تتفاوت درجة تطوّر عملية إعداد النماذج ولكن نناقش هنا قائمة عامة بالاحتياجات. وبالإضافة إلى ذلك، ترد في المرفق ٣ بهذا الفصل قائمة ببعض المصادر الشائعة لهذه البيانات.

بيانات الريح

٥-٤-٨ سرعة (معدل حركة) الريح الأفقية واتجاهها المتولدان عن مكوّن الريح المنحنية بفعل دوران الأرض والمتغيران عن طريق خصائص السطح المحلي وبارامترات أخرى مثل التضاريس لهما أهمية أولية في كل الحالات ما عدا الحالة البسيطة. وفي النهج المتقدم والنهج المتطوّر، يجب وضع علم المناخ بمزيد من التفصيل وقد يشمل بيانات الريح من مناسيب متعددة و/أو تدرجات الريح الرأسية. وكثيراً ما تتوافر هذه البيانات التاريخية من السجلات الموجودة (أنظر المرفق ٣). وستتفاوت سرعة الريح واتجاهها بسبب خصائص السطح والطوبوغرافيا والمباني المحلية وغطاء السطح والتأثيرات القريبة مثل هيئات المياه الكبيرة. وقد تراعى هذه العوامل لوضع ميدان مناسب للريح بصورة تتوقف على متطلبات النموذج.

الاضطراب واستقرار الغلاف الجوي

٥-٤-٩ يمكن تعريف استقرار الغلاف الجوي ببساطة بأنه الوضع المضطرب للغلاف الجوي وله تأثير كبير على تخفيف معدل الملوّثات. ويشير الاضطراب إلى الحركات الصغيرة للغلاف الجوي، الدائرية في طبيعتها بصفة عامة والتي يشار إليها باسم الدوامات. وتتفاوت هذه الدوامات تفاوتاً كبيراً في حجمها بصورة تتوقف على استقرار الغلاف الجوي. ويمكن أن "تمزّق" الدوامات الصغيرة الخيط وتسبب الاختلاط مع الهواء المحلي بينما تميل الدوامات الكبيرة إلى تحريك الخيط بأكمله.

٥-٤-١٠ يمكن تمييز الاضطراب بطرق متعددة تشمل الأساليب التجريبية (مثل أصناف باسكويل–غيفورد للاستقرار) أو رقم ريتشاردسون للتدفق أو رقم ريتشاردسون للتدرج أو طول مونين–أوبوخوف. وفي حين أن كل أسلوب يتطلب مدخلات مختلفة لتحديده، فإن معلومات الأرصاد الجوية الأساسية المطلوبة هي سرعة الريح حسب الارتفاع (قص الريح) ودرجة الحرارة حسب الارتفاع (معدل التفاوت) وتقلبات سرعة الريح وخصائص السطح. وكثيراً ما يتم تقسيم الاضطراب إلى فئات مستقر (يُعاق الاختلاط الرأسي للملوّثات) ومتعادل (لا تُعاق ولا تعزز الحركة الرأسية للغلاف الجوي) وغير مستقر (تُعزز الحركة الرأسية للغلاف الجوي).

بيانات الهواء العلوي

٥-٤-١١ من المعترف به في التحليل المتقدم والمتطوّر أن أحوال الغلاف الجوي تتغيّر مع الارتفاع. ولأخذ هذا التغيير في الحسبان، كثيراً ما تُستخدم بيانات أرصاد جوية على ارتفاعات أعلى (حتى بعض مئات الأمتار) من البيانات السطحية، على الرغم من أنه يمكن أن تحدد

بعض النماذج بصورة تقريبية التغيير مع الارتفاع بالاستناد إلى البيانات السطحية وتستخدم تحديد بارامترات الطبقة الحدّية. وإذا استُخدمت البيانات، فإن هذه البيانات تأتي من عمليات السبر الصوتي وإطلاق المناطيد التي تحمل مجموعات من الأجهزة والتقارير عن طريق الطائرات.

درجة الحرارة

٥-٤-١٢ لدرجة الحرارة المحيطة تأثير على معدل التفاعلات الكيميائية وقد تكون مطلوبة في النهج المتطوّر. وقد تحتاج النماذج إلى تغيّر درجة الحرارة مع الارتفاع (معدل التفاوت) للمساعدة في تحديد استقرار الغلاف الجوي ويمكن أن توجد حاجة إليه لكل من النهج المتقدم والنهج المتطوّر.

غطاء السحاب

٥-٤-١٣ لغطاء سحاب تأثير مباشر على البياض المتغيّر وكثيراً ما يُستخدم بصورة غير مباشرة لاستقرار الغلاف الجوي في النهج المتقدم.

البارامترات المشتقّة (المحددة حسب النموذج)

٥-٤-١٤ قد تكون بارامترات عديدة مهمة على نحو يتوقف على النموذج المختار (مثل التدفق الحراري المحسوس وسرعة احتكاك السطح ومقياس سرعة الحمل الحراري والتدرّج الرأسي المحتمل لدرجة الحرارة وطول مونين–أوبوخوف ونسبة بوين). ويمكن في كثير من الأحيان اشتقاق هذه البارامترات من بيانات الأرصاد الجوية الأساسية المبيّنة أعلاه. والبارامترات غير مبيّنة هنا، ولكن إذا لم تُحسَب مباشرة عن طريق نموذج التشتت المختار، ينبغي أن يُعنى المستعمل عناية بالغة بفهم هذه البارامترات وكيفية اشتقاقها.

خشونة السطح

٥-٤-١٥ تغيّر الأنواع المختلفة من السطوح الخصائص الاحتكاكية للسطح وتؤثر على ملامح الريح الرأسية وخصائص الاضطراب. وبالنسبة للمطارات يكون هذا في كثير من الأحيان تضاريس مسطحة مغطاة بالنبات بالقرب من المدارج، ولكن موقع وارتفاع المباني مثل المحطة النهائية وصفوف الأشجار و، بالنسبة لبعض المطارات، التغييرات الهامة في ملامح السطح كلها أمور يجب تقريرها. وبعد هذا التقرير، قد تُستعمل خرائط لتحديد قيمة بارامتر خشونة السطح (z_0) لإدراجه في النموذج. ويعرض الجدول ٥-١ مثالاً لقيم يمكن اختيارها. ومن الملاحظ أن هذا هو بارامتر وليس الطول الحقيقي للأشياء على السطح.

الجدول ٥-١ — طول خشونة السطح، z_0, للأسطح المعتادة[٢]

وصف التضاريس	z_0 (m)
الماء	0.0001
الأرض المغطاة بالحشائش (الشتاء)	0.001
الأرض المغطاة بالحشائش (الصيف)	0.1
الأرض المزروعة (الشتاء)	0.01
الأرض المزروعة (الصيف)	0.2
المستنقع	0.2
الأرض الصحراوية المغطاة بالشجيرات	0.3
الغابة النفضية (الشتاء)	0.5
الغابة النفضية (الصيف)	1.3
الغابة الصنوبرية	1.3
الحضرية	1.0–3.0

مواقع الاستقبال

٥-٤-١٦ موقع الاستقبال هو موقع في حيّز قد يمثل مكاناً يشغله البشر أو ببساطة موقعاً يُحظى بالاهتمام. ومواقع الاستقبال يمكن أيضاً أن تكون ببساطة شبكة محددة سلفاً ذات حجم معيّن، مركزها نقطة مرجعية ثابتة للمطار. وقد يتم تحديد أماكن مواقع الاستقبال للمطار في المطار أو خارجه. ويتم اختيار هذه الأماكن عن طريق استعراض المطار مع اهتمام خاص بالأماكن التي عادة ما يحدث فيها نشاط بشري أو أماكن أخرى، مثل المحميات الطبيعية. وستنتج عن اختيار أماكن مواقع الاستقبال تركيزات موضوعة لها نماذج في هذه النقاط تُستخدم لتحديد التأثير الإجمالي في ذلك المكان.

التركيزات الخلفية

٥-٤-١٧ كما سلفت مناقشته (المعادلة ٥-١)، فإن التركيزات الخلفية سببها مصادر لا تؤخذ بعين الاعتبار خلال عملية إعداد النماذج. ويجب إضافة هذه التركيزات، على أساس محدَّد حسب الملوِّث، إلى نتائج النموذج للحصول على التركيز الإجمالي لأي ملوّث. والتركيزات الخلفية تصدرها الطرق القريبة والصناعة والعمليات التجارية والمناطق السكنية والنقل طويل المدى. وتحدَّد التركيزات الخلفية في معظم الأحيان عن طريق محطات القياس طويل الأجل في المنطقة نظراً لأن المصادر عديدة للغاية بحيث لا يتسنّى إعداد نماذج لها خلال تقييم المطار. وكثيراً ما يُستخدم التركيز المتوسط عكس الريح بالمطار وقد يُخصَّص مؤقتاً لتفسير التغيرات النهارية في المصادر المحلية الأخرى. وحسب الملوّث، فإن نسباً مئوية عالية من التركيزات (المقيسة) الإجمالية قد تكون من تركيزات خلفية يتم أحياناً إدخالها في منطقة الدراسة من مسافات بعيدة.

كيمياء الغلاف الجوي

٥-٤-١٨ كما سلف بيانه، قد تتفاعل الملوّثات مع مكونات أخرى في الغلاف الجوي بعد انبعاثها من المصدر. ويسبّب هذا تغيّراً في السلائف وينشئ ملوّثات جديدة. وهذا هام بصفة خاصة بالنسبة لانبعاثات الطائرات حيث تُنشأ ملوّثات الغاز الثانوي والجسيمات الدقيقة. وهذا موضوع متقدم وسيكون في معظم الأحيان مضمّناً في النموذج المُستَخدم أو قد يتم حتى تجاهله على نحو يتوقف على نطاق الدراسة. ويتم دائماً

٢ D.B. Turner, Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, An Introduction to Dispersion Modelling, 2nd Ed., Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 1994.

تجاهل التفاعلات الكيميائية في النهج البسيط المحدد هنا. وفي الحالة التي لا يتم فيها صراحة أخذ كيمياء الغلاف الجوي بعين الاعتبار، يمكن تطبيق نسب قائمة على بيانات تاريخية ويحدَّد هذا في هذه الوثيقة بوصفه النهج المتقدم. وعلى سبيل المثال، فإن نسبة أول أكسيد النيتروجين إلى ثاني أكسيد النيتروجين هامة. وقد توفّر البيانات التاريخية نسبة معتادة. ويمكن من ثم تطبيق هذه النسبة على التنبؤ بأكاسيد النيتروجين (أول أكسيد النيتروجين + ثاني أكسيد النيتروجين) الذي يتم عن طريق نماذج بدون خوارزميات كيميائية. وإذا لم يتم القيام بتحديد أنواع الهيدروكربونات عن طريق النموذج، فقد يتم أيضاً تقديرها بهذه الطريقة بالاستناد إلى التنبؤ بالهيدروكربون الإجمالي والبيانات التاريخية.

٥-٤-١٩ تسير التفاعلات الكيميائية بمعدلات مختلفة وتتأثر بالتركيزات المحيطة ووقت النقل والأحوال المحيطة وسيُنظر فيها جميعاً في النهج المتطوّر. ويختلف وقت حدوث التفاعل بالنسبة لكل ملوّث، ومعدل التفاعل ضروري لإعداد نماذج التشتت للملوّثات التفاعلية.

٥-٥ حساب التشتت

٥-٥-١ يتضمن المرفق ١ بهذا الفصل لمحة عامة جداً لمنهجيات التشتت بينما يشتمل المرفق ٢ على قائمة بالنماذج شائعة الاستعمال لتحليل المطارات. وليس الغرض من هذا الفصل تقديم توجيهات تفصيلية بشأن استخدام هذه المنهجيات أو المفاهيم، ويوجَّه القارئ إلى النصوص الملائمة أو أدلة المستعمل للمنهجية المحددة المختارة/للأسلوب المحدد المختار. ويرد في هذا القسم بيان أسس النهج البسيط والنهج المتقدم والنهج المتطوّر. وسيتوقف اختيار أفضل أسلوب مناسب للتحليل على البيانات المتوافرة والاستخدام المنشود للنتائج.

التحليل ومستوى الجهد

٥-٥-٢ مع تقدم التحليل من النهج البسيط إلى النهج المتقدم ثم إلى النهج المتطوّر، تزداد المتطلبات من البيانات وكذلك وقت التحليل. غير أن الدقة تزداد مع الجهد الإضافي المطلوب إذا كانت البيانات المدخلة من نوعية جيدة. وينبغي أن يكون النهج البسيط محافظاً في طبيعته في حين سيوفّر النهج المتقدم والنهج المتطوّر نتائج تسمح بأن يكون تحليل التأثير واقعياً أكثر. ويبيّن الجدول ٥-٢ متغيّرات المدخلات التي قد تكون مطلوبة إذا تم اختيار النهج البسيط أو النهج المتقدم أو النهج المتطوّر. ويحدد النموذج المختار الاحتياجات بدقة.

ملاحظة — التعيين ١ في النهج البسيط يشير إلى نهج نموذج الاستعادة بينما يكون ٢ هو تحليل محافظ كثيراً ما يُشار إليه بوصفه تحليل "أسوأ الافتراضات".

الجدول ٥-٢ — مدخلات البيانات المطلوبة حسب النهج المتبع

البارامترات الرئيسية	النهج البسيط	النهج المتقدم	النهج المتطوّر
الانبعاثات	حسب ما ورد بيانه في الفصل الثالث		
التقسيم المكاني	بالنسبة للحالة ١ "نهج نموذج الاستعادة": لا يوجد تمييز محدد، المطار بوصفه "قفّاعة انبعاثات" واحدة. وبالنسبة للحالة ٢("أسوأ الافتراضات")، حجم شبكة كبيرة للغاية باستخدام موقع مصدر واحد مثل المدارج.	مواضع موقع الاستقبال المحدد مع تقسيم مكاني على شبكة خشنة (مثلاً لا يقل حجم الشبكة عن ٥٠٠ متر).	مواضع موقع الاستقبال المحدد مع شبكة دقيقة حجمها ١٠ × ١٠ أمتار، ولكن لا يتجاوز حجمها ٥٠٠ × ٥٠٠ متر.
التقسيم الزماني	المجموع السنوي.	التقسيم الشهري أو اليومي.	تقسيم كل ساعة أو وقت أقصر.
الأرصاد الجوية	لا تستخدم بيانات للطقس أو القيم البديلة:	مراعاة ما يلي: • بيانات مناخية لبارامترات متعددة تتراوح من متوسط كل	مراعاة ما يلي: • بيانات مناخية تفصيلية على نطاق زمني صغير تشمل

البارامترات الرئيسية	النهج البسيط	النهج المتقدم	النهج المتطوّر
	• سرعة الريح هي ١ ميل/ثانية؛ • اتجاه الريح مستقر؛ • الغلاف الجوي للمصادر على مستوى سطح الأرض؛ • ولا يُستخدم ارتفاع الخيط للتنبؤ بتركيز تقديري محافظ (كثيراً ما يُشار إليه باسم "أسوأ الافتراضات")؛ • محسوب بموقع الاستقبال؛ • لا يؤخذ ارتفاع الاختلاط بعين الاعتبار.	ساعة إلى متوسط يومي؛ • الاضطراب كبارامتر واحد (مثل تصنيف للاستقرار بالاعتماد على اعتبارات سرعة الريح وغطاء السحاب؛ • ويُفترض أن متوسط ارتفاع الاختلاط هو ٩١٤ متراً (٠٠٠ ٣ قدم).	بيانات الهواء العلوي وارتفاع الاختلاط المحدد؛ • بارامترات مشتقة متعددة تتطلب بيانات إضافية (مثل غطاء السحاب وتدرجات درجة الحرارة).
خشونة السطح	اعتبار أن كل المنطقة مسطحة ومعشوشبة.	أخذ الملامح الطوبوغرافية الرئيسية بعين الاعتبار.	أخذ الملامح الطوبوغرافية والغطاء الأرضي والمباني المحلية بعين الاعتبار.
معلومات مواقع الاستقبال	المواقع العامة على مستوى سطح الأرض.	المواقع المحددة على مستوى سطح الأرض.	المواقع المحددة مع مواقع أفقية ورأسية متفاوتة.
التركيز الخلفي	لا يؤخذ بعين الاعتبار أو قيمة واحدة لمنطقة المطار.	قيمة واحدة لمنطقة المطار.	الاعتبارات الزمانية والمكانية مشمولة.
كيمياء الغلاف الجوي	لا توجد.	نِسَب التحويل المعتادة (التحليلية) من الدراسات المنجزة.	الكميات الثابتة التفصيلية لمعدلات التفاعل مع أخذ التركيزات المحيطة المحلية للأنواع الكيميائية المتفاعلة بعين الاعتبار.

٥-٥-٣ من الملاحظ مرة أخرى أن كثيراً من النماذج لن تدعم جميع المتغيرات أو تتطلب معلومات محددة للغاية، ويتولى المحلّل المسؤولية عن تحديد أي المتغيرات يتطلبها أي نموذج.

النهج البسيط

٥-٥-٤ يمكن التفكير في النهج البسيط بطريقتين متميزتين، أي:

أ) استخدام نموذج الاستعادة الذي تنعدم فيه بيانات المطار باستثناء التغيير الشامل في العمليات.

ب) تحليل تبسيطي يسمى تحليل "أسوأ الافتراضات".

كما هو الحال في الفصل الثالث بالنسبة للانبعاثات، يوصى بالنهج البسيط فقط عندما تتوافر بيانات محدودة أو للتقديرات الأولية.

نهج الاستعادة

٥-٥-٥ نهج الاستعادة هو الأبسط ويتطلب أقل قدر من البيانات وهو، بصفته هذه، يمكن الاضطلاع به بسرعة بالغة. وهو يمثل أيضاً أكبر خطأ. وفي هذا النهج، الذي ليس هو إعداد نماذج للتشتت بالفعل، يتم تحديد تدرّج الانبعاثات والتركيزات المعروفة وفقاً للتغيّرات الإجمالية في عمليات الطائرات. ويفترض هذا أن جميع المصادر الأخرى تزداد أو تنخفض بنفس المعدل كعمليات الطائرات. وتمثل المعادلة ٥-٢ الفكرة رقمياً:

$$\Delta_2 = \Delta_1(O_2/O_1)$$ المعادلة ٥-٢

حيث:

Δ_2 = الانبعاثات الإجمالية أو تركيزات المنطقة المحلية في الوقت ٢.

Δ_1 = الانبعاثات الإجمالية أو تركيزات المنطقة المحلية في الوقت ١.

$O_{1,2}$ = عمليات الطائرات في مرات هبوط وإقلاع للوقتين ١ و ٢، على التوالي.

تحليل "أسوأ الافتراضات"

٥-٥-٦ في هذا التحليل، يُفترض أن سرعة الريح هي أصغر قيمة تقدم إجابات معقولة في نموذج، وعادة ما يكون ثابتاً ١ متر/ثانية. ويُفترض أيضاً أن الريح من الاتجاه الذي يحدث أكبر تركيز في موقع الاستقبال. ويُعتبر استقرار الغلاف الجوي مستقراً للغاية بالنسبة للمصادر على سطح الأرض ولا يؤخذ ارتفاع الاختلاط بعين الاعتبار. ويُفترض أن التركيزات الخلفية هي قيمة معتدلة واحدة. وينتج عن استخدام هذه البارامترات ما يسمى تحليل "أسوأ الافتراضات" إذ أنه في الواقع من النادر، إذا حدث ذلك على الإطلاق، أن تكون التركيزات بهذا الارتفاع. وتؤدي هذه الافتراضات إلى منطق أنه إذا لم يبيّن تجاوز المعايير أو المقاييس في هذا التقدير المعتدل حيث من الأرجح أن تكون التركيزات المتنبأ بها على مستوى أعلى مما يحدث عادة، فلا يوجد إذن تأثير مهم. ويمكن استخدام نماذج بسيطة ويمكن ترميز هذا الأسلوب، بصفته تلك في جدول بيانات (مثل استخدام الصيغة الغاوسية (Gaussian) المدرجة في المرفق ١) أو قد تُستخدم رسوم بيانية وجداول. وقد تُستخدم أيضاً نماذج الحاسوب البسيطة. وميزة ذلك هي أنه توجد حاجة لمجموعة صغيرة من البيانات فقط والتوصل إلى نتائج بسرعة. وعيب هذا هو أنه تنبؤ معتدل للغاية يفرط في تقدير الآثار.

النهج المتقدم

٥-٥-٧ في هذا النهج، لا بد من استخدام نماذج مرمّزة بالحاسوب. وقد تحتاج وكالة المراجعة إلى نماذج محددة. وتتوافر بعض النماذج في الملكية المفتوحة أو قد تُشترى نماذج مملوكة ملكية خاصة. ولكل نموذج دليل للمستعمل ولمعظمها دليل فني للمحلّل المهتم بذلك. ويجب أن يقوم المحلّل بمراجعة كاملة لدليل المستعمل وأن يتأكد من المدخلات. ويصدق في هذه الحالة القول المأثور القديم "garbage in equals garbage out" (إذا دخل ما هو تافه لن يخرج إلا ما هو تافه)، والنتيجة، حتى بالنسبة لأكمل نموذج، هي مماثلة فقط للبيانات المدخلة. وقد تشمل بعض النماذج توصيلاً بيانياً تفاعلياً للمنتفع للسماح بإدراج المدخلات بمزيد من السهولة. وإذا لم يحدث ذلك، سيتعين استحداث ملفات مدخلات. وقد تتضمن بعض النماذج عوامل الانبعاث المطلوبة (أو، في حالة الطائرات، أدلة الانبعاث) وذلك لجعل المدخلات أسهل. وفي هذه الحالات قد يتسنى إنجاز حصر الانبعاثات مباشرة في النموذج. وإذا لم تُدرج هذه المعلومات، سيتعين إكمال حصر الانبعاثات أولاً خارجياً. وقد يحدث التخصيص الزماني والمكاني في مرحلة حصر الانبعاثات أو يؤجَّل إلى حين إجراء تحليل التشتت.

٥-٥-٨ قد تكون هذه النماذج هي أنفسها كما في النهج المتطوّر والاختلاف هو مزيد من استخدام القيم البديلة للمتغيرات المدخلة وبيانات تشغيلية أقل اكتمالا وتركيزات خلفية غير متفاوتة ودرجة أقل من التحديد المكاني والزماني. وتشتمل مدخلات النماذج على عدد كبير من القيم "البديلة"، أي القيم المعتادة بالنسبة للمطارات ولكن ليست القيم الفعلية للمطار المحدد. وتشمل النماذج المعتادة المستخدمة في النهج المتقدم لإعداد النماذج بالقرب من المطارات دراسات نوعية هواء المطارات المحلي – المشهد القوسي وأداة التصميم البيئي للطيران/نظام نمذجة الانبعاثات والتشتت[٣] والبرمجيات الشاملة لإدارة نوعية الهواء للمطارات[٤] ومحاكاة لاغرانج للأيروسول من أجل المطارات[٥].

٣ United States EPA, AERMOD, AERMIC Dispersion Model, http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/mod-desc.txt (accessed June 2020).

٤ CERC, ADMS, http://www.cerc.co.uk/environmental-software.html (accessed June 2020).

٥ Janicke Consulting, "LASPORT: A program system for the calculation of airport-induced pollutant emissions and concentrations in the atmosphere", http://www.janicke.de/en/lasport.html (accessed June 2020).

النهج المتطوّر

٥-٥-٩ يتطلب هذا النهج أشمل جهد لجمع البيانات لتحديد المدخلات. ويُستعاض عن القيم البديلة ببيانات حقيقية ويصدق هذا بصفة خاصة على مدخلات الأرصاد الجوية. والبيانات التشغيلية كاملة للغاية مع تركيز أكبر بكثير على التقسيم المكاني والزماني. وقد تكون النماذج هي أنفسها كما في النهج المتقدم ولكن مع البيانات الفعلية واستخدام أكبر بكثير للخيارات. وتشمل النماذج المعتادة المستخدمة في النهج المتطوّر لإعداد النماذج بالقرب من المطارات دراسات نوعية هواء المطارات المحلي – المشهد القوسي وأداة التصميم البيئي للطيران/نظام نمذجة الانبعاثات والتشتت والبرمجيات الشاملة لإدارة نوعية الهواء للمطارات ومحاكاة لاغرانج للأيروسول من أجل المطارات.

النهج المختلط

٥-٥-١٠ كما هو الحال بالنسبة للانبعاثات، يمكن خلط النهوج الأساسية الثلاثة وفقاً للحاجة والبيانات المتوافرة. والنهج البسيط، بسبب التبسيطات الكبيرة التي تتم، لا يسمح بالنهج المختلط إلا في حالات خاصة للغاية. وكثيراً ما يكون النهج المتقدم والنهج المتطوّر مختلطين. ويصدق هذا بصفة خاصة عند استخدام نفس النموذج مع عدد كبير من القيم المدخلة البديلة من أجل تقدير عالي المستوى ثم يتم صقله للسماح بمزيد من إعداد النماذج بالتفصيل.

٥-٦ مخرجات النماذج

٥-٦-١ لكل نموذج مخرجات مختلفة ولكن بعضها مشترك بين جميع النماذج. والأول هو ملف انعكاس للبيانات المدخلة عند استخدام نماذج الحاسوب. وهذا مكوِّن هام للمخرجات لأنه يتيح للمستعمل التحقق من البيانات المدخلة من أجل ما يلي:

أ) التأكد من دقة المدخلات؛

ب) التأكد من أن النموذج قد فسّر المدخلات من البيانات بصورة صحيحة (هام للغاية بالنسبة لمدخلات الخانات الثابتة)؛

ج) تقييم البارامترات المشتقة حسب النموذج الذي سيتم الإبلاغ عنه مع المخرجات.

د) تخزين النتائج وفهم المدخلات المستخدمة في وقت لاحق.

٥-٦-٢ أهم مُخرَج من جميع النماذج هو التركيزات المحسوبة. وستكون التركيزات مخرجات كمتوسط زمني معيّن (مثلاً متوسط سنوي أو مجموعة من المتوسطات اليومية)، يمكن أن تدعمها بعض الإحصاءات (مثل الشرائح المئوية أو تواترات التجاوز) أو حتى مجموعات زمنية كاملة (مثل المتوسطات لكل ساعة في نقاط استقبال معينة). وعادة ما ستكون وحدات التركيزات إما أجزاء لكل مليون (ppm) وإما ميكروجرامات لكل متر مكعب ($\mu g/m^3$). وفي حالة الجسيمات الدقيقة، تكون $\mu g/m^3$ فقط صحيحة. ثم ينبغي أن تقارَن التركيزات المحسوبة أو المتنبأ بها بما في ذلك الخلفية بمقاييس أو معايير نوعية الهواء المحيط مع الإطار الزمني الصحيح والوحدات الصحيحة.

٥-٦-٣ قد تتضمن بعض النماذج أيضاً مخرجات بيانية للمساعدة في تحديد مجالات المشكلات أو لإتاحة تصوّر التغييرات، مثلاً، خلال إعداد نماذج التخفيف. وفي النهج المتطوّر، ستتوافر في المخرجات أيضاً عدة بارامترات مشتقة.

٥-٧ تطبيق إعداد النماذج وتفسير النتائج

٥-٧-١ ينبغي أن يكون المحلّل مدركاً لدقة النتائج. ويتوقف هذا على النموذج المستخدم ودقة البيانات المدخلة وأي افتراضات مطبّقة.

الريبة في إعداد نماذج التشتت

٥-٧-٢ نظراً لأن نماذج تشتت ملوّثات الهواء تتفاوت من البسيط إلى المتشعب للغاية، يوجد اختلاف كبير في الريبة من نموذج إلى آخر. ويشير حنا[٦] إلى أن الريبة في التنبؤ للنموذج الإجمالي هي توليفة من بارامترات تشمل أخطاء الفيزياء للنموذج والريبة الطبيعية أو التخمينية وأخطاء البيانات. ومع ازدياد عدد البارامترات، تنخفض الريبة الطبيعية أو التخمينية ويتحسّن تمثيل النموذج للواقع الفيزيائي. ويؤدي هذا إلى نماذج أكثر تشعّباً وحاجة أكبر إلى بيانات مدخلة عالية الدقة. غير أنه مع ازدياد عدد البارامترات المدخلة، قد تزداد أخطاء البيانات المدخلة. ويمكن أن تسبّب البيانات المدخلة الرديئة أن تكون مخرجات النموذج الأكثر تشعّباً مساوية لمخرجات النماذج الأكثر بساطة أو حتى دون مستواها. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تعديلات النموذج القائمة على مجموعات بيانات محدودة يمكن أن تؤدي إلى مزيد من الخطأ.

٥-٧-٣ هذا يجعل من الصعب للغاية القياس الكمّي للريبة. وقد يكون أداء النماذج حسناً في التنبؤ بحالات الحدوث القصوى ولكنه قد يكون رديئاً عند محاولة التنبؤ بالتركيزات في الوقت والمكان بالمقارنة مع القياسات.

٥-٧-٤ كثيراً ما تشير القيم الحدّية ونتائج النموذج المطلوبة إلى كميات إحصائية مثل الشرائح المئوية والمتوسطات لوقت طويل مثل المتوسطات السنوية أو التركيزات القصوى بمعزل عن حدوثها المحدد في الوقت أو موقعها الدقيق. وقد يسفر نموذج ما عن نتائج موثوقة فيما يتعلق بهذه الكميات حتى إذا كان أداؤه رديئاً في المقارنة نقطة بنقطة، مثلاً، مع المجموعات الزمنية المقيسة في موقع معيّن.

التحقق القائم على القياسات

٥-٧-٥ تُطبَّق نماذج التشتت المتشعّبة في شكل برامج للحاسوب. وبالنظر إلى ضمان الجودة فمن المطلوب التحقق من مثل هذه البرامج والمصادقة عليها. ويتم في التحقق فحص ما إذا كان البرنامج ينفّذ بصورة صحيحة الصيغة الرياضية (الخوارزميات) للنموذج. ثم يتم في التحقق فحص كيفية وصف النموذج والبرنامج بصورة حسنة للواقع، وعادة ما يكون ذلك عن طريق مقارنة مع مجموعات بيانات مقيسة.

٥-٧-٦ من المهم للمصادقة أن تكون هذه المجموعات من البيانات مكتملة بقدر كاف، أي أنه يمكن أداء اختبار المصادقة بأقل قدر من الافتراضات الإضافية. وإذا كانت الافتراضات مطلوبة أو إذا كانت الافتراضات قد نُفِّذت في نموذج أو برنامج، من المهم ما إذا كانت تستند إلى أسس عامة أو معدلة، مثلاً، لمطار أو وضع محدد. وفيما يتعلق بالبيانات المدخلة، عادة ما تكون النماذج المتشعّبة أكثر مقدرة على تقديم بيان عن تفاصيل المطار المحدد وهي بذلك أكثر مرونة للمصادقة عن طريق المقارنة ببيانات مقيسة.

المقارنة بالمستويات والمعايير القابلة للتطبيق

٥-٧-٧ استُخدم الاصطلاح التأثير في هذا الفصل بأكمله. وذلك لأن الآثار يتم تقييمها في معظم الأحيان عن طريق مقارنة التركيزات المتنبأ بها من نماذج التشتت بالمستويات و/أو المعايير التي هي في معظم الأحيان تركيزات ذات متوسط زمني تستند إلى الآثار الصحية. وقد عولج استخدام هذه المستويات في فصول سابقة ولن يُكرّر هنا. غير أنه من المهم إقرار الصلة بين إعداد نماذج التشتت وتقدير التأثير. والنتائج من حصر الانبعاثات لا تتيح هذا التحليل للتأثير المباشر. ويتعين أيضاً أن يؤخذ بعين الاعتبار أنه عادة ما سيتم فقط عن طريق إعداد نماذج تشتت لجميع المصادر المساهمة فضلاً عن إدراج جميع التركيزات الخلفية التوصل إلى نتائج تقارَن مباشرة بالمستويات القابلة للتطبيق. ومع ذلك يجب النظر في ريَب إعداد النماذج فيما يتعلق بالإبلاغ عن الآثار المباشرة.

٦ S.R. Hanna, "Plume dispersion and concentration fluctuation in the atmosphere," *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, Volume 2,*Air Pollution Control*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1989.

استخدام التشغيل المتعدد خلال النظر في التخفيف

٥-٧-٨ قد تُستخدم نتائج كل من حصر الانبعاثات وتحليل التشتت لأغراض التخفيف. والفرق الكبير، حسب ما لوحظ في القسم السابق، هو أن نتائج تحليل التشتت التي تقارن الحالة الراهنة بتصوّرات مستقبلية متعددة تسمح بتقييم التغيرات في تركيز المنطقة المحلية و، من ثم، التغيرات في الآثار المتصلة بالصحة.

التقدم المستقبلي في النماذج

٥-٧-٩ مع ازدياد فهم الانبعاث والتشتت لنظم المصادر المتصلة بالمطارات، سيتم تحسين النماذج لتعبّر وتتضمن أوجه التقدم هذه.

٥-٧-١٠ بالإضافة إلى تطوير النماذج، يحدث جمع بين إعداد النماذج على النطاق الصغير (تلك التي تناقَش هنا) وإعداد النماذج على النطاق الإقليمي للسماح بتقييم التأثير على مسافات أكبر من المطار والنظر بمزيد من التفصيل في التركيزات الخلفية في المطار.

٥-٧-١١ مع حدوث أوجه التقدم، ستواجَه الوكالات وسلطات المطار بالحاجة إلى تقييم وتنفيذ ممارسات إعداد النماذج التي توفّر أفضل تحليل للتأثير بالنسبة إلى المطار. وهذا المجال، بصفته تلك، دينامي وأي وثائق مثل هذه الوثيقة سيتعين تقييمها بمرور الوقت لإمكان تحديثها.

المرفق ١ بالفصل الخامس

لمحة عامة لمنهجيات إعداد نماذج التشتت

١- إعداد نماذج التشتت هو علم جديد نسبياً ويستمر التطوّر. وفي سنة ١٨٩٥، أصدر رينولدز[١] ورقة تناقش الانسياب من الرقائقي إلى الاضطرابي في الأنابيب، اعتبرها البعض نقطة انطلاق إعداد نماذج التشتت. وأصدر تيلر[٢] واحدة من أولى الورقات بشأن الاضطراب في الغلاف الجوي في سنة ١٩١٥ وفي سنة ١٩٢١ أصدر "Taylor theory of turbulent diffusion" (نظرية تيلر للانتشار الاضطرابي) التي هيّأت أساساً لوصف التشتت مع قابلية الدوامات الثابتة للانتشار. واستمر التطوّر وفي سنة ١٩٦٢[٣] نشر باسكويل الكتاب المعلم "Atmospheric Diffusion" (الانتشار في الغلاف الجوي). ولخّص هذا العمل ما سبق إنجازه حتى ذلك الحين وهو أساس نماذج الخيط الغاوسي الحديثة القائمة على الانتشار الأفقي والرأسي للخيط الذي يتم تحديده تجريبياً بوصفه متوقفاً على استقرار الغلاف الجوي والمسافة، وهي قِيَم سيغما المعروفة الآن. وتتوافق قِيَم سيغما بصورة معقولة مع نظرية تيلر.

٢- توجد أنواع مختلفة من منهجيات إعداد نماذج التشتت لحساب التشتت، ولها سمات وقدرات مختلفة. وفي الستينات استمر العمل في إعداد نماذج التشتت في التوسّع وإضفاء طابع رسمي على عملية إعداد نماذج التشتت بما في ذلك اعتبارات ارتفاع الخيط. ونتج عن هذا أساس إعداد النماذج بالأسلوب اللاغرانجي (المحور الإحداثي المتحرك) وإعداد النماذج بالأسلوب اليوليري (المحور الثابت) المعروفين اليوم. وأصبح العلم نهجاً مقبولاً للتنبؤ بتركيزات الملوّثات بالقرب من المطارات التي تتصل مباشرة بالتأثير على الصحة والرفاهية العامتين. ويتطلب القيام بإعداد نماذج التشتت متغيرات رئيسية يتم تجميعها بعناية وقد حدثت منهجيات مختلفة. ويرد هنا وصف موجز للغاية لكل منها.

الصيغة الغاوسية

٣- لا تزال الصيغة الغاوسية مستخدمة أكثر من أي نهج آخر. ويفترض هذا النهج اللاغرانجي أن يكون التشتت باتجاه الريح معتمداً على فئة الاستقرار والمسافة باتجاه الريح ويطبّق دالة الكثافة للاحتمال الغاوسي لتفسير تعرّج الخيط وانتشاره. وأصدرته في أشكال مختلفة وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة كجزء من سلسلة شبكة المستعمل لإعداد النماذج التطبيقي لتلوّث الهواء في أواخر الستينات ولا تزال تجري تطويرات على النطاق العالمي. ويمكن تطبيقه على خيوط أو نفثات منفردة وهو بصفته تلك يوفّر المرونة المطلوبة لإعداد نماذج نوعية الهواء المحلي. وقد تمت مواءمته لمصادر النقطة والخط والمنطقة. وفي شكله الأساسي كمصدر نقطة، بالنسبة لخيط، يتم التنبؤ بالتركيز (c) بالتعبير الرياضي التالي:

$$(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} exp\left(-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\left\{exp\left(-\frac{1}{2}\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + exp\left(-\frac{1}{2}\frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right)\right\}$$

المعادلة ٥-أ١-١

---

١ Reynolds, O. "On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion". Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Volume 186, 1895, pp. 123–164 (doi:10.1098/rsta.1895.0004)

٢ Taylor, G.I. "Eddy motion in the atmosphere". Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Volume 215, 1915, pp 1–26 (10.1098/rsta.1915.0001

٣ Pasquill, F. Atmospheric Diffusion: the dispersion of windborne material from industrial and other sources, D. Van Norstand Company Ltd. London 1962

حيث:

Q = مصدر القوة؛

u = سرعة الريح؛

H = ارتفاع المدخنة؛

σ_y, σ_z = معاملات التشتت الأفقي والرأسي.

٤- يلاحَظ أن x، المسافة باتجاه الريح، مشمولة ضمنياً في معامِلات التشتت الأفقي والرأسي التي تزيد مع المسافة باتجاه الريح.

٥- استخدمت صيغ النماذج الغاوسية الأحدث توزيعاً غاوسياً ثنائياً في الرأسي لتقديم بيان أفضل للاختلاط الرأسي في أحوال الحمل الحراري. وينتج عن هذا مزيد من الدقة ولكن ينتج عنه أيضاً نموذج أكثر تشعّباً.

قابلية الدوامات للانتشار بالاستناد إلى صيغة حفظ الكتلة

٦- في هذا النهج اليوليري، يُستخدم الحل التقريبي للمعادلات التي تحكم حفظ الكتلة مع افتراضات مبسّطة تربط دفقات الاضطراب $< u'c' >$ بتدرجات التركيز، $\partial c/\partial x_i$ عن طريق إدراج اصطلاح قابلية دوامة للانتشار، K_i. وينتج عن هذا ما يلي:

$$< u'c' > = - K_i \left(\frac{\partial c}{\partial x_i}\right)$$ المعادلة ٥-أ١-٢

يُستخدم هذا النهج على نطاق واسع أو للملوّثات الموزّعة بانتظام حيث لا تكون الخيوط المنفردة الكبيرة سائدة. ويحدث هذا بالنسبة لملوّثات مثل أول أكسيد الكربون. وقد طُبِّق هذا النهج في إعداد النماذج الإقليمية في الشكل التالي:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + u_x \frac{\partial c_i}{\partial x} + u_y \frac{\partial c_i}{\partial y} + u_z \frac{\partial c_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial c_i}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial c_i}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial c_i}{\partial z}\right)$$ المعادلة ٥-أ١-٣

$$+ R_i(c_1, c_2, \dots, c_n) + E_i(x, y, z, t) - S_i(x, y, z, t)$$

حيث:

u_x, u_y, u_z = السرعة.

c_i = تركيز النوع i^{th}.

R_i = معدّل التكوّن الكيميائي للنوع i.

E_i = دفق الانبعاثات.

S_i = دفق الإزالة.

نموذج الصندوق

٧- نموذج الصندوق هو تمثيل رياضي مبسّط لحجم من الهواء محدد ومخلوط جيداً (الصندوق) يتضمن مدخلات إلى الحجم ومخرجات منه. ونظراً إلى أن الصندوق مخلوط جيداً، فإن التركيز المخرج معادل للتركيز داخل الصندوق. وقد تُستخدم عدة صناديق في وضع أفقي أو رأسي مع مُخرج صندوق واحد يمثّل مُدخل التالي في نهج شبكي. ويمكن أخذ التفاعلات الكيميائية في كل صندوق بعين الاعتبار. ويتيح هذا استخدام صيغة حفظ الكتلة لكل صندوق في هذا الأسلوب اليوليري.

نماذج المسارات

٨- هذه النماذج، التي تستند إلى النهج اللاغرانجي، تقدم حلاً تقريبياً عن طريق استخدام المعادلات التي تنظّم حفظ الكتلة ونظام إحداثيات يتحرك مع متوسط سرعة الريح. ويعني هذا النهج ضمنياً أنه تتم المحافظة بصورة معقولة على سلامة القطعة طوال وقت محاكاة النموذج ويفترض أنه يوجد مقدار ضئيل من قص الريح الأفقي وانتشارات الاضطراب الأفقية والنقل الرأسي بحركة الهواء الأفقية. وهذا النموذج غير مقبول عموماً للاستخدام العام للتطبيقات التنظيمية في الولايات المتحدة.

نماذج الكتلة وكمية الحركة

٩- في النموذج من هذا النوع، تطبَّق المعادلات المنظِّمة للكتلة وكمية الحركة باتباع مبادئ من الدرجة الأولى. وعلى سبيل المثال، قد تبدأ النهوج بمعادلة نافيير–ستوكس الأساسية وتشمل الاضطراب على أساس تحديد المتوسط من قبل رينولدز. وتكون النتيجة أكثر صرامة علمياً مع إجراءات متشعّبة تتفادى تبسيط نظرية K ولكنها كثيراً ما تكون متّسمة بكثافة استخدام الحاسوب والبيانات ومخصصة لحالة معيّنة. وهذه الفئة من النماذج، بصفتها تلك، تميل لأن تكون أكثر توجهاً نحو البحوث واستخدامها غير شائع.

نماذج الجسيمات اللاغرانجية

١٠- على نقيض النماذج الغاوسية، القائمة على حل تحليلي لمعادلة التشتت التقليدي، والنماذج اليوليرية، التي تحل هذه المعادلة رقمياً، تحاكي نماذج الجسيمات اللاغرانجية عملية النقل نفسها.

١١- من بين العدد الضخم من الجسيمات (الغاز، الأيروسول، الغبار) المنبعثة عادة من أحد المصادر، تؤخذ فقط عينة تمثيلية صغيرة بعين الاعتبار. وعادة ما يكون حجم العينة نحو مليون جسيم تقريباً، ويتوقف ذلك على المشكلة وموارد الحاسوب المتوافرة. ويُحسب مسار كل من هذه الجسيمات على الحاسوب عن طريق عملية تخمينية (عملية ماركوف في حيّز المرحلة). ومن هذه المسارات يُستمد توزيع التركيز ثلاثي الأبعاد، المعتمد على الوقت، غير الثابت.

١٢- نموذج الجسيمات اللاغرانجي، كما هو محدد مثلاً في المبدأ التوجيهي VDI 3945/3 (English/German, see www.vdi.de)، لا يتضمن بارامترات قابلة للضبط. وهو يعتمد على بارامترات الأرصاد الجوية التي يمكن تحديدها بدون تجارب تشتت. وعادة ما تتراوح المقاييس الزمنية من بضع دقائق إلى سنة واحدة مع تقسيم زمني ينخفض إلى بضع ثوان، وتتراوح المقاييس المكانية من بضعة أمتار إلى ١٠٠ كيلومتر تقريباً.

١٣- بدأت زيادة البحوث والتطبيق على فيزياء الغلاف الجوي منذ نحو ثلاثين سنة مضت، وأصبحت نماذج الجسيمات اللاغرانجية مستعملة على نطاق أوسع مع ازدياد سرعات الحاسوب وتخزين الذاكرة. ويتم اليوم بصورة روتينية تطبيق التقنية في مراقبة نوعية الهواء.

نهج الخيط في الشبكة

١٤- هذا الأسلوب مختلط بين النهجين اللاغرانجي واليوليري. والنهج اليوليري مكيّف باستخدام نماذج المسار أو تقنيات التشتت الغاوسية لحفظ تركيزات أنواع المقادير الضئيلة للتغلّب على حالات النقص فيما يتعلق باختلاط الملوّثات الفوري في الشبكة.

نماذج الغلق

١٥- يجب معالجة الانتشار الرأسي في النماذج اليوليرية. ويُستخدم في العادة مخططان مختلفان لغلق الاضطراب هما: الغلق المحلي والغلق غير المحلي. ويفترض الغلق المحلي أن الاضطراب مماثل للانتشار الجزيئي بينما يفترض الغلق غير المحلي أن الدفق مماثل لكميات متوسطة على طبقات مختلفة ويُسمَح بتبادل للكتلة. وكثيراً ما تناقَش نماذج الغلق على أنها في المرتبة الأولى لمعادلات التكهّن بالمتغيرات

المتوسطة (أي الريح أو درجة الحرارة) أو نماذج من مرتبة أعلى أكثر تشعّباً. وهذا النوع من إعداد النماذج له صلة وثيقة بنماذج قابلية الدوامات للانتشار التي سلف بيانها.

النماذج الإحصائية

١٦- تستند هذه الفكرة إلى التحليل الإحصائي لقياسات الملوّثات المحيطة ومعلومات الانبعاثات الأخرى. ويتَّبع هذا النهج على أفضل وجه عند توافر المعلومات التفصيلية من المصادر لأن هذه النماذج تكتنفها صعوبة تطبيق النتائج مع تغيّر بارامترات الموقع. وتتمثل إحدى المجموعات الفرعية لهذا النوع من إعداد النماذج في إعداد نماذج مواقع الاستقبال الذي استُخدم للتنبؤ بالجسيمات الدقيقة في الولايات المتحدة وفي المملكة المتحدة. ويستخدم إعداد نماذج مواقع الاستقبال أساليب إحصائية متعددة المتغيرات للتحديد والقياس الكمّي لتوزيع ملوّثات على مصادرها.

١٧- خلاصة القول أن المقصود بهذا التعداد للإجراءات هو تقديم معلومات أساسية لمناقشة إعداد نماذج التشتت تتيح للمحلّل فهم العملية على نحو أفضل.

المرفق ٢ بالفصل الخامس

نماذج التشتت شائعة الاستعمال بالقرب من المطارات

١- ليس الغرض من هذا المرفق التوصية بأي نموذج تشتت معيّن أو تقديم معلومات تفصيلية عن أي نموذج. ومن المتوقع أن يختار المحلّل أكثر نموذج ملائم بالاستناد إلى المتطلبات التشريعية والبيانات المتوافرة والقصد من الاستعمال.

٢- يبيّن الجدول ٥-أ٢-١ مجموعات محوسبة لإعداد نماذج التشتت شاع استعمالها في المطارات. ومن الملاحظ أن نماذج كثيرة قد استُعملت وأن الجدول لا يشمل كل شيء.

الجدول ٥-أ٢-١ — نماذج التشتت شائعة الاستعمال في المطارات

نموذج نوعية هواء المطار	النوع الأساسي لنموذج التشتت	معلومات النموذج
AEDT/EDMS	Bi-Gaussian	Sponsoring organization: United States Model developer: FAA
ADMS-Airport	Bi-Gaussian	Sponsoring organization: United Kingdom Model developer: CERC
Open-ALAQS	Bi-Gaussian/Lagrangian	Sponsoring organization: France Model developer: Eurocontrol
LASPORT	Lagrangian	Sponsoring organizations: Germany and Switzerland Model developer: Janicke Consulting

٣- يتضح في جميع هذه المجموعات لإعداد النماذج أنه لا يوجد نهج لإعداد النماذج يفي تماماً بجميع احتياجات إعداد النماذج الحالية، وخاصة إذا أُخذت التكلفة والطابع العملي والتشعّب بعين الاعتبار. وينتج هذا إما عن استعمال عدة نماذج واختيارها على أساس كل حالة على حدة وإما عن تكييفات/تبسيطات لمدخلات نماذج مختارة.

٤- ينبغي أن يستعرض المحلّل أي متطلبات تشريعية ومصادر يتعين إعداد نماذجها ومدخلات مطلوبة لأي نموذج محدد وحدود أي نموذج عند اختيار نموذج التشتت الملائم.

المرفق ٣ بالفصل الخامس

مصادر المعلومات المناخية

١- يتطلب إعداد نماذج التشتت باتباع النهج المتقدم أو المتطوّر معلومات أرصاد جوية مفصّلة. وينبغي العناية باختيار هذه البيانات. وقد لا تعرض البيانات قصيرة الأجل الاتجاهات بدقة وقد لا تمثّل التغيرات الموسمية أو أنماط الريح السائدة أو التغيرات النهارية.

٢- وفقاً للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، تقوم أكثر من ١٠ ٠٠٠ محطة رصد جوي سطحي مأهولة وآلية و١ ٠٠٠ محطة جو علوي و٧ ٠٠٠ سفينة و١٠٠ عوامة مربوطة و١ ٠٠٠ عوامة طليقة ومئات رادارات الرصد الجوي و٣ ٠٠٠ طائرة تجارية مجهزة خصيصاً بقياس البارامترات الرئيسية للغلاف الجوي وسطح الأرض والمحيط كل يوم."[١]

وتتوافر المعلومات لعدة سنوات وقد أنشئت قواعد بيانات قبل سنة ١٩٥٠.

٣- يمثّل نظام المركز العالمي لبيانات الأرصاد الجوية، الذي يضم ٥٢ مركزاً في ١٢ بلداً، عدداً ضخماً من محطات الرصد على النطاق العالمي (http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_5.php).

٤- قد تحتفظ البلدان المنفردة أيضاً بالبيانات المناخية المطلوبة لإقليم أو بلد. وتشمل هذه المركز البريطاني لبيانات الغلاف الجوي[٢] في المملكة المتحدة والمراكز الوطنية للبيانات المناخية في الولايات المتحدة NCEI[٣]. ولدى المركز الوطني للبيانات المناخية مثلاً بيانات عن سطح الأرض قابلة للتنزيل المباشر وبيانات عن الجو العلوي ومعلومات مفيدة أخرى في أشكال متعددة. وتتسم بأهمية السجلات التاريخية طوال سنوات عديدة التي تساعد على تجنّب الأخطاء بسبب البارامترات المدخلة غير الصحيحة. ويمكن الحصول على البيانات من الأعوام ابتداء من سنة ١٨٠٠ إلى الوقت الحاضر بشأن أكثر من ٨ ٠٠٠ موقع في الولايات المتحدة و١٥ ٠٠٠ محطة على النطاق العالمي ويتوقف ذلك على البيانات المطلوبة.

٥- يمكن الحصول على البيانات من جامعات عديدة على النطاق العالمي كذلك، وكثيراً ما توفّر معلومات فريدة بالنسبة للإقليم. ويُقترح أن يستكشف المحلّل هذه الإمكانية للحصول على المعلومات.

---

١ Observations," World Meteorological Organization (WMO), https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do/observations, (accessed June 2020).

٢ http://www.ecn.ac.uk/links/link-items/british-atmospheric-data-centre (accessed June 2020).

٣ https://www.ncdc.noaa.gov/ (accessed June 2020).

الفصل السادس

قياسات نوعية الهواء المحيط للمطارات

٦-١ مقدمة

المطارات هي جزء هام من الهيكل الأساسي الاقتصادي للمدن التي تخدمها، ويدعم نشاط نقل الركاب والبضائع في أي مطار احتياجات النقل الجوي المحلي. غير أن المطارات، كجزء من الهيكل الأساسي، تجتذب العديد من أنواع الأنشطة التي تساهم في تلوّث الهواء في المنطقة المحلية، أي: الطائرات، السيارات، معدات المساندة الأرضية، المصادر الثابتة، الخ. واستجابة في كثير من الأحيان لمختلف الأهداف والمتطلبات، تسعى المطارات و/أو السلطات المحلية لتفهّم أثر مصادر التلوّث المتصلة بالمطار على نوعية الهواء المحلي. وفي حين تتوافر أدوات لإعداد النماذج، تجري في بعض مواقع المطارات محاولة للقياس الكمّي للانبعاثات المتصلة بالمطارات من خلال القيام بقياسات فعلية للهواء. ومن الأهمية بمكان أن تمتثل القياسات التي تُجرى للمطارات لبروتوكولات القياس الملائمة. ويبيّن هذا الفصل العناصر المختلفة لقياسات نوعية الهواء المحيط للمطارات.

٦-٢ متطلبات ودوافع قياسات نوعية الهواء

٦-٢-١ يبيّن الفصل الثاني من هذا الدليل الإطار التنظيمي العام لنوعية الهواء المحلي والدوافع المؤثرة على صناعة الطيران لتوفير المعلومات أو الاضطلاع بنشاط متصل بنوعية الهواء. وبالنسبة لقياسات نوعية الهواء المحيط على وجه التحديد، تؤثر متطلبات ودوافع عديدة على الحاجة لإجراء قياسات نوعية الهواء المحيط للمطار. وكثيراً ما تُجرى القياسات بغية الوفاء بالتزامات قانونية، كجزء من برامج طوعية أو للتحقق من النماذج.

٦-٢-٢ ***الامتثال القانوني*** — للامتثال لأنظمة نوعية الهواء المحيط القابلة للتطبيق وما يصاحبها من قواعد أو أهداف لملوّثات معينة، قد يُطلب من المطارات و، في بعض الأماكن، السلطات المحلية إجراء قياسات للهواء المحيط. وقد تكون سلطة المطار أو السلطة المحلية ملزمة أيضاً بإجراء قياسات بصورة منتظمة أو غير منتظمة (مثلاً التقييم الأساسي أو في سياق توسيع المشاريع).

٦-٢-٣ ***البرامج الطوعية*** — على سبيل المثال، كثيراً ما يؤدي قلق الجمهور والمجتمع المحلي إلى الحاجة لقياسات للحصول على معلومات فعلية عن نوعية الهواء في الجوار المحلي. وبدلاً عن ذلك، قد يقوم المطار طوعياً بإجراء قياسات والإبلاغ كجزء من سياسته البيئية وأنشطته الإدارية.

٦-٢-٤ فضلاً عن قلق الجمهور والمجتمع المحلي، قد تظهر أدلة أو نظريات علمية جديدة تقترح بدء حملات للقياس في المطارات أو حولها للبحث عن إيضاحات أو للحصول على مزيد من المعلومات.

٦-٢-٥ ***التحقق من النماذج*** — تتم أحياناً معايرة نتائج النماذج مع النتائج المقيسة لتحديد مقدرة النموذج على تمثيل الأحوال الجارية بقدر من الثقة. وبمجرد التحقق من نموذج معين بالنسبة للأحوال الأساسية، يمكن استخدامه بمزيد من الثقة للتنبؤ بالتصوّرات المستقبلية بدقة. وهذا مهم بصفة خاصة عندما ينظر المطار في إجراء محتمل (تطوير الهيكل الأساسي مثلاً) والاحتياجات لتحليل التأثير المحتمل للإجراء وأي تدابير تخفيف محتملة.

٦-٢-٦ التحذير الرئيسي المرتبط بالتحقق من النماذج هو أن النموذج عادة ما يتنبأ بتركيزات من مصدر واحد أو عدة مصادر للانبعاثات ولكن ليس بالضرورة من جميع المصادر المساهمة. وفي هذه الحالة قد يصعب مقارنة التركيزات المنمذجة بالقيم المقيسة، ويتعين تطبيق إجراءات متشعبة لغرض القيام فعلاً بعمليات التحقق من النماذج.

٦-٣ خطة القياس

عملية تصميم خطة للقياس

٦-٣-١ خطة القياس من أجل قياسات نوعية الهواء المحلي أو الإقليمي تحددها متطلبات خارجية و/أو داخلية والموارد الضرورية المتوافرة. وينبغي تناول العناصر الرئيسية التالية لخطة القياس (أنظر أيضاً الشكل ٦-١):

أ) أهداف ومتطلبات القياسات (حسبما ورد بيانها في ٦-٢)؛

ب) العوامل الخارجية؛

ج) مواقع القياس (فيما يتعلق بمباني المطار)؛

د) أساليب القياس؛

ه) تخطيط الإدارة.

٦-٣-٢ فيما يتعلق بالمتطلبات الخارجية، قد يكون لدى المطارات هدف واحد أو أهداف متعددة للقياسات، بما في ذلك الرغبة في الحصول على معلومات حقيقية عن التركيزات الفعلية لنوعية الهواء المحيط في مواقع استقبال محددة لأغراض الاتصال أو لإنشاء تحليل للاتجاهات طويلة الأجل لملاحظة تطوّر نوعية الهواء بمواقع القياس استجابة لتطورات الانبعاثات.

العوامل الخارجية

٦-٣-٣ العوامل الخارجية الرئيسية التي يتعين أخذها بعين الاعتبار في قياسات نوعية الهواء المحيط من المحتمل أن تكون هي معايير القياس والتوصيات والمبادئ التوجيهية القائمة. وينبغي استخدام الوثائق الإطارية المحلية أو الوطنية لقياسات نوعية الهواء المحيط إذا كانت قابلة للتطبيق أو عملية أو متوافرة. وهذا يمكن أن يتراوح من مسائل عامة مثل مبادئ القياس أو ضمان الجودة لنظم القياس المقررة التي يتعين وضعها.

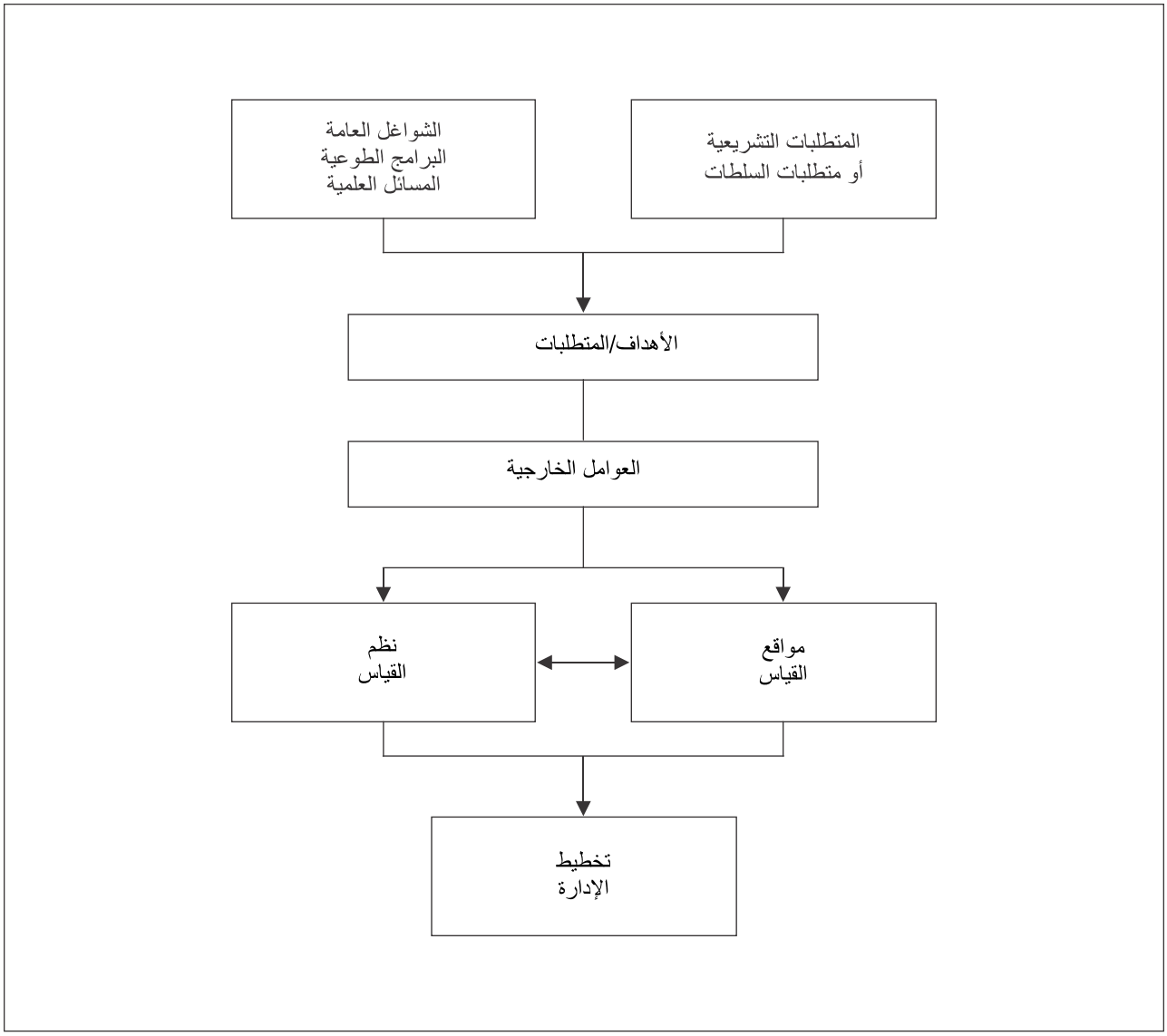
٦-٣-٤ في بعض الحالات، يتعين على المطارات تحمّل المسؤولية عن قياسات نوعية الهواء وتكلفتها. ولهذه الغاية، قد تكون الموارد والمهارات الفنية والميزانية المتوافرة عوامل تحدد النطاق الممكن لقياسات نوعية الهواء.

٦-٣-٥ قد تكون أنشئت فعلاً شبكة لرصد نوعية الهواء تقوم بتشغيلها السلطات المحلية أو هيئات أخرى. وفي هذه الحالة سيكون من المستصوب تنسيق أو حتى مواءمة خطط القياس المحتملة لتفادي ازدواج القياسات المتماثلة أو المتطابقة أو لتفادي أوجه عدم الاتساق أو حتى التناقضات.

مواقع القياس

٦-٣-٦ ستساعد الأهداف والمتطلبات حسبما هي مبينة في ٦-٢ على تحديد موقع محطات الرصد. ويرد في الشكل ٦-٢ إيضاح خطة عامة، مع أنها معتادة، لاختيار الموقع مع وصف كل موقع وتبريره في الشكل ٦-١. وقد تختلف خطة اختيار الموقع من مطار إلى آخر على نحو يتوقف على أوجه استخدام الأراضي الإقليمية الفعلية والهيكل الأساسي والتنمية.

٦-٣-٧ ينبغي إجراء قياسات الهواء عكس الريح وباتجاه الريح من المطار/مصادر المطار مع السعي في الوقت ذاته لتحقيق تمييز بين توزيع المصادر. ولتحقيق التمييز بين توزيع المصادر، ينبغي تحديد المواقع التي من الأرجح أن يسود فيها مصدر انبعاثات محدد، بينما قد تسهم المصادر الأخرى بصورة هامشية فقط في التركيزات الإجمالية.



الشكل ٦-١ — عناصر خطة القياس

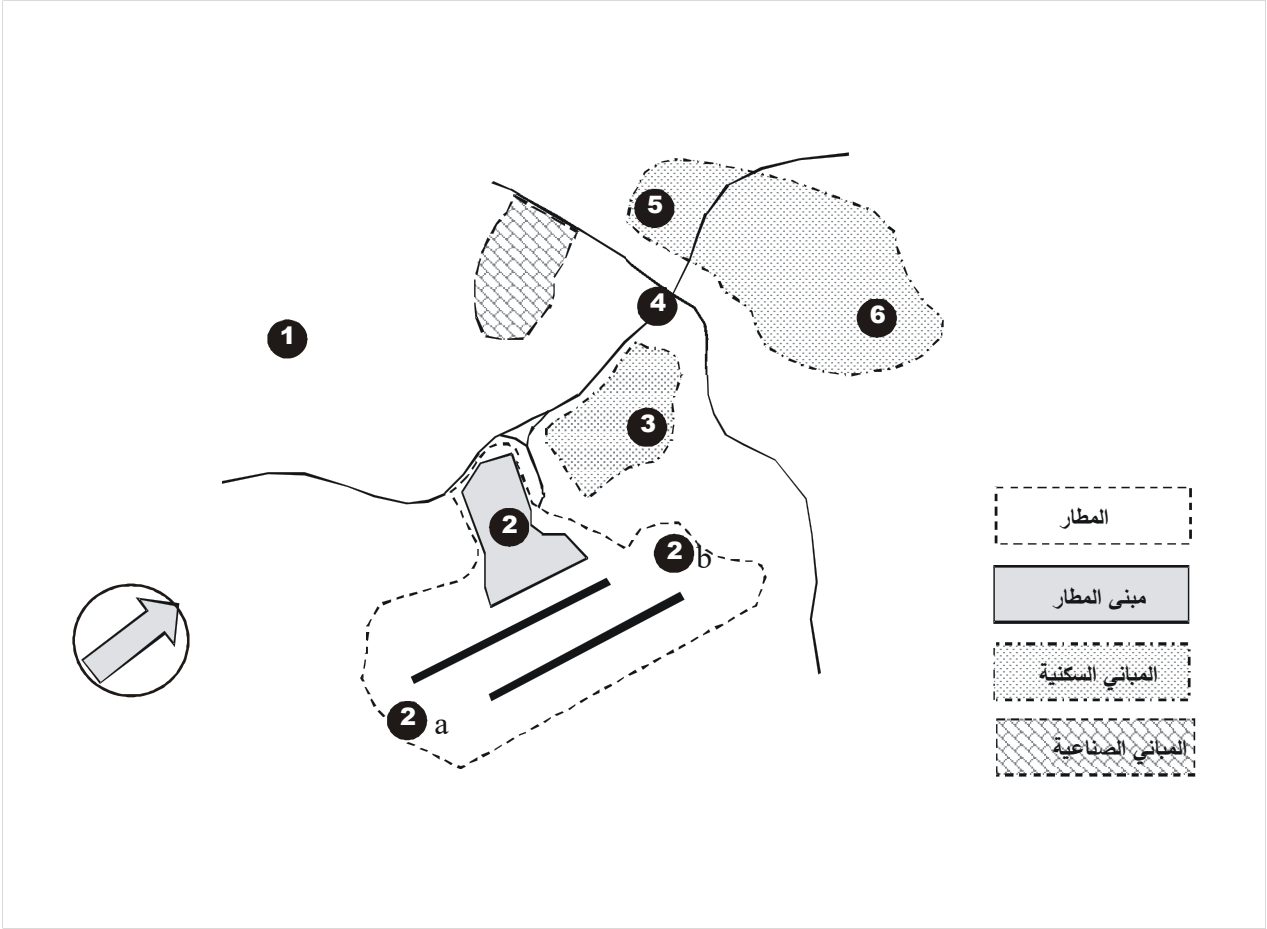
٦-٣-٨ ترتبط الأسئلة التالية باختيار مواقع القياس:

أ) ما هي تركيزات التلوّث الحالية (السابقة) للأنواع ذات الصلة بالقرب من المطار؟

ب) هل يمكن، إلى درجة ما على الأقل، تمييز الآثار التي يسبّبها المطار؟

ج) ما هو اتجاه تركيزات التلوّث؟

٦-٣-٩ في اختيار المواقع في المطار وحوله بصدد الجهات المساهمة في التلوّث التي من الأرجح أن تكون الغالبة، قد يمكن إجراء تقدير نوعي لوثاقة صلة آثار الحركة الجوية والآثار التي يسببها المطار بالموضوع.



الشكل ٦-٢ — خطة اختيار الموقع للقياس العام
(السهم المحاط بدائرة: اتجاه الريح السائدة)

أساليب القياس

٦-٣-١٠ تتوافر أساليب مختلفة للقياس يمكن أن تتراوح من بسيط (من حيث مكان الموقع والمعالجة) إلى متطوّر. ويجب أن يتم اختيار كل أداة وفقاً لما يقتضيه القياس المتوقع، الذي يتوقف تحديده على تحليل طلب الزبون أو السلطة عندما لا يكون إلزامياً بحكم القانون. وعلى أي حال، يجب أن يناقش ويقبل جميع الأطراف خطر تقديم نتيجة خاطئة عند المقارنة بعتبة.

٦-٣-١١ يتمثل الفرق الرئيسي بين نظم القياس في ما إذا كانت إيجابية (يجمع النظام عيّنات وتحاليل الهواء باستمرار) أو سلبية (يتفاعل الهواء المحيط مع النظام ويتم الحصول على النتائج عن بعد). ويناقش الجدول ٦-٢ كلاً من النهجين النظاميين من حيث البارامترات المختلفة التي يتعين أخذها بعين الاعتبار عند تقييم نظم القياس.

٦-٣-١٢ عند النظر في المواقع المحتملة بالاقتران مع نظم القياس، يمكن استنتاج أن المواقع في المطار يمكن تجهيزها بنظم إيجابية و/أو سلبية، في حين أن قياسات نوعية الهواء في منطقة المطار ينبغي إجراؤها بنظم سلبية.

الجدول ٦-١ — وصف مواقع القياس العام

الرقم (من الشكل ٦-٢)	وصف الموقع	التبرير
١	موقع التركيز الخلفي، لا تعكّر صفوه أي أنشطة ملوّثة.	توفر هذه المحطة البيانات الخلفية والأساسية للمنطقة التي يقع فيها المطار.
٢	تقع جميع المحطات (بما في ذلك 2 a و 2 b) داخل منطقة المطار التي توجد فيها أنشطة مطار كثيفة. واختيارياً، تقع المحطات مباشرة عكس الريح وباتجاه الريح (وعلى خط متقاطع معها) من المدرج، وعلى حدود المطار في كثير من الأحيان.	يمكن توقع أن هذه المحطات ستعبّر على الأرجح عن أنشطة المطار (الطائرات و/الخدمات الأرضية والهيكل الأساسي). وستكون تلك الأنشطة هي الغالبة في تركيزات التلوّث، ومن المحتمل أن هذه المصادر ستسبّب تغيّرات كبيرة في التركيز.
٣	تقع هذه المحطة في منطقة سكنية واقعة باتجاه الريح من المطار، ولكن بدون مصدر انبعاثات غالب بالقرب منها.	سينتج عن هذه المحطة الوضع المتوسط لمنطقة سكنية ذات مساكن دائمة هي الأقرب إلى المطار وباتجاه الريح منه. وقد لا يكون إسناد مصدر ممكناً، ولكنه غير ضروري.
٤	تقع هذه المحطة بجوار طريق رئيسي للحركة، ولكنها مع ذلك بالقرب من المطار.	الحركة على الطريق مصدر هام للانبعاثات بصفة عامة. وتعبّر هذه المحطة عن آثار الحركة على الطريق على نوعية الهواء المحلي بالقرب من المطار. ولا يوجد تمييز للحركة المتصلة بالمطار مقابل أي حركة أخرى.
٥	تقع هذه المحطة في منطقة سكنية أخرى، ولكنها باتجاه الريح من منطقة صناعية ذات انبعاثات.	يمكن أن تخضع مناطق سكنية مع ذلك لتركيزات زائدة. وفي هذه الحالة من المهم تمييز مصادر الانبعاثات غير المتصلة بالمطار ولكنها لها تأثير على المناطق القريبة من المطار.
٦	تقع هذه المحطة على مسافة أبعد من المطار، ولكنها كذلك في منطقة سكنية باتجاه الريح من المطار.	يمكن توقّع أنه على مسافة أبعد باتجاه الريح من المطار، ستنخفض التركيزات، بشرط ألا توجد مصادر انبعاثات هامة أخرى.

تخطيط الإدارة

٦-٣-١٣ يتمثل عنصر هام لقياس نوعية الهواء المحيط في ضمان تقديم تفسير على النحو السليم للإنجاز والتنفيذ الفعلي. ولهذه الغاية، يتعين تناول عدة عناصر وتحديدها وتوثيقها في تخطيط الإدارة. وتشمل هذه ما يلي:

أ) المسؤولية عن المشروع.

ب) الصيانة.

ج) إدارة البيانات.

د) الاتصال.

ه) ضمان الجودة ومراقبة الجودة.

٦-٣-١٤ تشمل المسؤولية عن المشروع، ولكنها لا تقتصر على، صياغة مفهوم القياس والحصول على الميزانية اللازمة لشراء معدات القياس وتركيبها وتشغيلها وصيانتها وتنظيم إدارة البيانات (التقييم، التحقق، التخزين) وإدارة عقود الأطراف الثالثة المحتملة. وهي تحدد أدوار جميع الأطراف المعنية ومسؤولياتها.

٦-٣-١٥ تتضمن الصيانة جميع عناصر الصيانة العادية والوقائية لمعدات القياس، وكذلك الإصلاحات، وتخطيط الطوارئ المحتملة عن طريق توفير معدات الغيار. وهي تتعلق أيضاً بمعايرة المعدات باتباع تعليمات الصانع أو المبادئ التوجيهية والتوصيات العامة.

٦-٣-١٦ تتضمن إدارة البيانات الحصول على البيانات (آلياً أو يدوياً) وتخزين البيانات وتحويل البيانات (مثلاً من محطات يتم تشغيلها عن بعد). وبمجرد الحصول على البيانات الخام، تُخضع لفحص للجودة يتعين تحديده مسبقاً، يتم فيه تحديد البيانات غير الملائمة وإما وضع علامة عليها أو إزالتها من مجموعة البيانات. وحسب نظام الحصول على البيانات والتقييم المطلوب وفترة الإبلاغ، قد يتعين تجميع البيانات في فترة مختلفة (القيمة كل ساعة مثلاً).

٦-٣-١٧ بمجرد توافر البيانات لتفسيرها على الوجه السليم، قد توجد متطلبات للاتصال و/أو النشر. ويجوز إصدار وتوزيع تقارير القياس العامة أو المقيّدة عن طريق تقارير مطبوعة أو إلكترونية. وفضلاً عن ذلك، قد يُحدد سلفاً الإبلاغ للسلطات أو أصحاب المصلحة المحليين.

٦-٣-١٨ بغية ضمان جودة البيانات المقيسة في الأجل الطويل، يوصى بعملية لضمان الجودة يتم فيها تناول جميع العناصر التي تؤثر على جودة البيانات. ويوضع مثل هذا النظام لمراقبة الجودة وينفَّذ لضمان بلوغ مستوى الثقة المطلوب في النظام ونتائجه.

٦-٤ تحليل البيانات

مقدمة

٦-٤-١ يمكن استخدام بيانات قياس الهواء المحيط بمجموعة متنوعة من الطرق، مثل ما يلي:

أ) وصف الأحوال الراهنة في منطقة أو موقع وبيان ما إذا تم أو لم يتم الوفاء بمعايير جودة الهواء المحيط؛

ب) تحديد الاختلافات التي تحدث كل ساعة واليومية والشهرية والموسمية؛

ج) تحديد الاتجاهات الخاصة والزمانية؛

د) تحديد المصادر الرئيسية التي تساهم في التركيزات المقيسة.

٦-٤-٢ تتوقف الكيفية التي يمكن بها استخدام البيانات على ما يلي:

أ) الملوّثات أو المكوّنات المحددة التي قيست؛

ب) مدة القياسات (أيام أو أسابيع أو شهور أو سنوات)؛

ج) التقسيم الزمني للقياسات (ثواني أو دقائق أو ساعات أو أطول)؛

د) عدد ومواقع أماكن الرصد التي استُخدمت لجمع القياسات؛

ه) بيانات الأرصاد الجوية (مثل سرعة الريح واتجاهها).

الجدول ٦-٢ — نظاما القياس الإيجابي والسلبي

البارامتر	النظام الإيجابي	النظام السلبي[1]
النظم الممكنة	المسار البصري: • DOAS (التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي) النقطة المستمرة: • TEOM (الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق) • جهاز الرصد الكتلي بتوهين بيتا • أجهزة أخذ العينات ذات الطاقة العالية • التألق الكيميائي	أكياس/علب أنابيب الانتشار السلبي الأوراق المرشّحة
أنواع التلوّث التي تُقاس	يمكن عادة قياس أنواع متعددة في محطة واحدة (مثل ثاني أكسيد النيتروجين والأوزون والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل) عن طريق استخدام عدة أجهزة في موقع واحد.	يمكن عادة قياس ملوّث واحد فقط. ولا يمكن قياس بعض الملوّثات إطلاقاً (التفاعلية).
التحليل	عادة ما تُحلَّل عيّنات الهواء مباشرة في المحطة وعند أخذ عيّناتها.	عادة ما تُحلَّل العيّنات عن بعد في مختبر وبعد جمعها.
فترات القياس	تبعاً للمعدات، يمكن أن تكون فترات القياس قصيرة، مثلاً يمكن تحليل العيّنات كل بضع ثوان أو دقائق.	عادة ما تكون الفترات طويلة (فترات أسبوعين مثلاً) أو قياسات مرة واحدة فقط.
دقة البيانات	عادة ما تكون دقة البيانات التي يتم الحصول عليها عالية على نحو مقبول، بشرط القيام بتركيب الأجهزة وصيانتها بصورة سليمة.	دقة البيانات المقيسة مقبولة. غير أنه، من أجل تحليل الاتجاهات أو المقارنة بعدد أكبر من المواقع، قد تكون الدقة كافية.
متطلبات الموقع	يتطلب موقع القياس مكاناً غير محجوب (فيما يتعلق بانسياب الهواء) وغرفة محمية من أجل المعدات والمحلّلين وإمكان الوصول إلى الطاقة الكهربائية. وتبعاً للجهاز، هناك حاجة أيضاً لخطوط اتصال من أجل العمليات عن بعد. ومن المنتظر أن تنطبق بعض القيود على الوصول إلى تلك الخطوط. ويمكن أيضاً أن يكون مثل هذا النظام نقالاً من أجل حملات القياس.	يتطلب موقع القياس مكاناً غير محجوب (فيما يتعلق بانسياب الهواء). ومن المطلوب هيكل أساسي محدود لتركيب نظام القياس (وليس من المطلوب غرفة محمية ولا طاقة).
الصيانة	من المطلوب مستوى زائد من الصيانة للأجزاء الكهربائية/الالكترونية والأجزاء الدقيقة للحصول والإبقاء على مستوى موثوق من القدرة على التشغيل. وقد يشمل هذا المعايرة المنتظمة أو تبادل الأجزاء الحساسة.	عادة ما تكون جهود الصيانة منخفضة لأن هذا النظام لا يتضمن، أو يتضمن قدراً محدوداً فقط، من الأجزاء الكهربائية/الالكترونية أو الأجزاء عالية الدقة.
التكلفة	من متوسطة إلى عالية (الاستثمارات) ومتوسطة (الصيانة).	منخفضة (الاستثمارات والصيانة).

١- المؤشرات البيولوجية/المراكم البيولوجية: هذه الفئة هي بدرجة أكبر مختلط بين نظام إيجابي وتعرّض طويل الأجل. ويرد في المرفق ١ بهذا الفصل وصف محدود لذلك.

وصف الأحوال الراهنة مقابل الوفاء بمعايير نوعية الهواء المحيط

٦-٤-٣ رصد نوعية الهواء المحيط هو الأسلوب التقليدي لبيان أن منطقة تفي حالياً بمعايير نوعية الهواء القابلة للتطبيق. وفي كثير من الأحيان يجب أن يُجرى الرصد من سنة إلى ثلاث سنوات قبل صدور تعيين رسمي وتقرير أن منطقة تفي أو لا تفي بمعيار. وقد حدّدت الوكالات التنظيمية كيفية استخدام البيانات في مقارنة النتائج المرصودة بمعايير نوعية الهواء.

٦-٤-٤ يوفّر رصد واحد أو أكثر من المواقع بالقرب من أحد المطارات معلومات بصدد نوعية الهواء المحلي بجوار المطار. وقد تُستخدم هذه البيانات لتحديد الأحوال القائمة أو الأساسية في وثيقة إفشاء بيئي لمشروع مستقبلي مقترح. ونظراً لأن معايير نوعية الهواء تشمل فترة تحديد المتوسط، وأن فترات تحديد المتوسط لمعايير معينة يمكن أن تبلغ حتى سنة واحدة، يجب القيام بالرصد للفترة الملائمة للمعايير التي ستقارَن بها البيانات. وقد يكون الرصد لفترة أطول مطلوباً إذا كان المعيار يستند إلى عدد محدود من القياسات التي يمكن تجاوزها خلال عدد من السنوات.

تحديد الاختلافات الدورية

٦-٤-٥ قد تقدم الاختلافات الدورية بعض الدلائل على أي المصادر قد تُسهم في التركيزات المقيسة. وكل مصدر في مطار له خصائص "ذروة" مرتبطة به. وعلى سبيل المثال، فإن الحركة السطحية الإقليمية كثيراً ما تتبع فترة ذروة صباحية أو مسائية مرتبطة بالعمل. وكثيراً ما تكون لعمليات الطائرات فترات ذروة متميزة. وقد يبلغ دخول المركبات الأرضية إلى مطار فترة الذروة من ٦٠ إلى ٩٠ دقيقة قبل وبعد ذروة عمليات الطائرات. وإذا توافرت بيانات مرصودة كل ساعة، وكانت هذه البيانات توضّح ذروات تركيز مناظرة في الوقت لفترات ساعات الذروة، فمن المحتمل من ثم أن تكون الحركة مساهمة رئيسية في القيَم المقيسة. ولاحظ أن هذا يفترض أن المرء ينظر في ملوّث خامل نسبياً (مثل أول أكسيد الكربون أو الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل أو أكاسيد النيتروجين الإجمالية).

٦-٤-٦ قد يكون الاختلاف أيضاً حسب اليوم في الأسبوع أو الشهر في السنة أو موسمياً. وقد تساعد هذه الاختلافات أيضاً على الإشارة إلى المصادر أو أنواع المصادر التي قد تكون مساهمة كبيرة في التركيزات المقيسة. غير أنه تجدر ملاحظة أن الاختلافات الدورية قد تكون مرتبطة أيضاً بآثار جوية، مثل درجة الحرارة أو ارتفاع الاختلاط أو الرطوبة النسبية تغيّر فعلياً انبعاثات الملوّثات من المصادر. وعلى سبيل المثال، تنتج مصادر الاحتراق أكاسيد نيتروجين أكثر وأول أكسيد كربون أقل عندما تكون درجة حرارة الهواء المحيط أعلى، مما تنتج عنه تقلبات نهارية كل ساعة واختلافات موسمية.

٦-٤-٧ هناك مثال نموذجي لاختلاف يتوقف على المصدر هو تركيز ملوّثات الطائرات. وقد توجد مطارات ذات حركة موسمية متميّزة (مقصد رياضات شتوية) أو حتى ذات حركة قائمة على نهاية الأسبوع. وثمة مثال نموذجي لاختلاف مناظر للأحوال الجوية هو مولّد الكهرباء لمطار يعمل في ظروف حمولة منتظمة بصورة معتدلة طوال السنة.

تحليلات الاتجاهات

٦-٤-٨ يستخدم تحليل التدرّج المكاني قياسات الهواء المحيط لملوّث واحد التي تُجرى في عدة مواقع للتعرّف على وتحديد أماكن مصادر الانبعاثات التي تساهم في القياسات.

٦-٤-٩ يستخدم تحليل السلاسل الزمنية قياسات الهواء المحيط لملوّث واحد التي تُجرى في عدة مواقع للتعرّف على أنماط تركيزات الملوّثات بمرور الوقت.

٦-٤-١٠ يمكن أن يوفّر جمع البيانات في موقع واحد لأجل طويل (عدة سنوات) معلومات عن الاتجاهات العامة في انبعاثات الملوّثات. وفي العديد من المناطق حيث توجد برامج جارية لمراقبة التلوّث، يبيّن الاتجاه طويل الأجل انخفاضات ثابتة في تركيزات الملوّثات المقيسة بمرور الوقت.

توزيع المصادر

٦-٤-١١ توزيع المصادر هو استخدام التركيزات التي رُصدت أو أعِدَّت لها نماذج، مع أو بدون بيانات أرصاد جوية، لتحديد المصادر و/أو أنواع المصادر و/أو مواقع المصادر التي تسهم بقدر كبير في القيم المقيسة. والتدرّج المكاني وتحليلات السلاسل الزمنية التي نوقشت أعلاه هي مصدر ممكن لأساليب التوزيع. وتشمل أساليب أخرى التوازن الكتلي الكيميائي أو تحليل المصفوفة الإيجابي إلى عوامل.

٦-٤-١٢ يشار إلى استخدام البيانات المرصودة لتحديد المصادر المساهمة في القياسات بوصفه إعداد نماذج مواقع الاستقبال. ويتم تحليل بيانات موقع الاستقبال (محطة الرصد) إلى جانب إما بيانات سرعة الريح واتجاه الريح وإما ملامح وخصائص انبعاثات نوع المصدر المفترض لاستخلاص المعلومات عن أي المصادر أو أنواع المصادر تصدر الانبعاثات التي تُقاس في المحطة.

٦-٤-١٣ القياسات في إحدى النقاط لا تتيح للمرء التمييز من بين مصادر مساهمة مختلفة ما لم يمكن عزل مادة تتبع تنبعث من مصدر محدد فقط. لذلك، من المهم إعداد النماذج بالاقتران مع القياسات بغية تقدير المساهمة من المصادر المنفردة أو مجموعات المصادر (مثلاً أحد المطارات).

تدبّر أمر البيانات الناقصة

٦-٤-١٤ عادة ما تبيّن المبادئ التوجيهية المحلية أو الوطنية الظروف المطلوبة التي تكون في ظلها السلاسل الزمنية المقيسة صحيحة. ومن أجل القياسات الأطول أجلاً (السنوية مثلاً)، يُسمح بعدد أقصى من الأيام بدون بيانات عندما لا يتعين اتخاذ إجراء محدد. وستؤدي الفجوات التي تتجاوز هذا التسامح إلى سلاسل قياس أو فترات لتحديد المتوسط غير صحيحة. ويمكن استخدام البيانات التي يتم الحصول عليها لأغراض المعلومات ولكن لا يجوز استخدامها للإبلاغ القانوني أو تبرير برامج التخفيف. وحيث تسمح مثل هذه المبادئ الرائدة بذلك، يمكن إدراج البيانات الناقصة على سبيل الاستكمال. وفي جميع الحالات، ينبغي توثيق ثغرات البيانات بوضوح.

٦-٤-١٥ يمكن القيام باستكمال نقطة واحدة أو عدة نقاط بيانات ناقصة عن طريق مراجعة فترة قياس صحيحة من محطة قريبة ذات أحوال جوية مماثلة واستخدام الاختلاف في نقاط القياس بطريقة مشابهة. وعلى أي حال، فإن أي بيانات مستكملة يتعين وضع علامة عليها بأنها بهذه الصفة.

٦-٥ ضمان جودة/مراقبة جودة القياس

المبادئ التوجيهية لإدارة الجودة

٦-٥-١ يتمثل أحد الأهداف الرئيسية لإدارة الجودة في توفير الثقة من أن القياسات دقيقة لتفادي النقد عند نقل النتائج. وستساعد عملية إدارة الجودة على تقليل الريبة إلى الحد الأدنى عن طريق تحقيق الأداء الأمثل للمعدات وكذلك قدرات الفنيين. وفضلاً عن ذلك، يجب أن تكون نتائج الرصد متوافرة بسهولة، ويجب أن تكون قابلة للتتبع ومحددة تماماً وموثّقة وفريدة في الوقت والموقع.

٦-٥-٢ يتوافر عدد من المبادئ التوجيهية، التي تشمل ولكن دون أن تقتصر على، مواصفات الصانع أو المبادئ التوجيهية المحلية أو الوطنية أو المبادئ التوجيهية الدولية (المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO)). ويتناول ISO 9001، وهو المرجع لإدارة الجودة، عمليات تنظيم معلومات القياس التي تتيح إرضاء الزبون. ويضيف ISO 17025، القائم على نفس تنظيم وهدف إدارة الجودة بوصفه معيار ISO 9001، والمُنشأ خصيصاً لأنشطة القياس، تقييم القدرة الفنية وهو أكثر تقييداً بكثير من ISO 9001.

الكفاءة الفنية

٦-٥-٣ يتمثل عامل هام لضمان جودة القياسات في مهارة وخبرة العاملين الذين يقومون بالقياسات. وبهذه الصفة، يتعين اكتساب المهارات الفنية الملائمة لجميع عناصر رصد نوعية الهواء (تركيب المعدات والتشغيل والصيانة والإصلاحات) وتدبّر أمر البيانات (الحصول على البيانات وتخزينها واعتمادها وتفسيرها). وينبغي أن يكون المستوى التعليمي الأدنى محدداً مقدماً وموثّقاً.

٦-٥-٤ من أجل ضمان المستوى المطلوب من الخبرة، يمكن وضع جدول زمني للتدريب يتضمن التدريب الداخلي والخارجي، مثلاً من قبل صانع المعدات أو السلطات البيئية. ويصدق هذا بصفة خاصة على أجهزة التحليل المتشعّبة التي كثيراً ما تتغيّر تكنولوجياتها. ويوصى بتوثيق جميع برامج التدريب (مثلاً وفقاً لـ ISO 9001). ويتعين أن تكون البرامج التدريبية قائمة على أساس تكراري.

دقة المعدات

٦-٥-٥ على صانع المعدات وصف إجراءات الصيانة (الوقائية) الضرورية بما في ذلك تواترها. ويجب برمجة الصيانة الوقائية بانتظام للمعدات لضمان الأداء الأمثل خلال التشغيل، وخاصة أثناء الرصد والنقل المستمرين للبيانات. ويمكن أن تشمل الصيانة الوقائية، مثلاً، التنظيف وتغيير أجزاء المعدات المحددة وتحديث البرمجيات. ويجب وضع جدول زمني لجميع أنشطة الصيانة وتوثيقها. وكذلك، ينبغي توثيق النتائج بعد كل صيانة يتم أداؤها.

٦-٥-٦ معايرة المعدات هامة وخطوة ضرورية ويتم القيام بها لضمان أن القياسات دقيقة وضمن نطاق المعدات المعيّن. وتتم المعايرة بعد فترات محددة سلفاً ومنتظمة بعد كل صيانة وقائية وإصلاح. وعند استخدام معدات أو مواد للمعايرة الإضافية (مثل الغازات المرجعية)، فيجب أن تكون جودتها مضمونة أو معتمدة بشهادة (مثل تاريخ انتهاء الصلاحية على الغازات المرجعية). وقد تكون درجة الحرارة والرطوبة المراقبتان ضروريتين لمعايرات محددة ولا بد من مراعاتهما. ويتعين تسجيل جميع المعلومات المتعلقة بمعايرة المعدات.

٦-٥-٧ على الرغم من كل الصيانة والمعايرات، قد تظل توجد بعض الريبة. ومن المهم فهم حجم مثل هذه الريبة ومستوى ما يمكن أن يكون لها من تأثير على القيم المقيسة الإجمالية بغية تحديد درجة دقة البيانات النهائية. ويمكن أن تساعد دراسة للريبة على تحديد العوامل المختلفة ووثاقة صلتها بالقياسات المحيطة ويمكن أن تقترح أيضاً سبلاً لتقليل الريبة في البيانات إلى الحد الأدنى.

تدبّر أمر البيانات

٦-٥-٨ حسب طريقة الرصد، قد يتم تجميع كمية كبيرة من البيانات الخام بمرور الوقت تتطلب إدارة البيانات بصورة محددة. ويتعين تقرير ما إذا كانت كل من البيانات الخام والتي تم إقرارها/معالجتها تحتاج إلى حفظها ولأي فترة من الوقت. وقد تتمثل طريقة مقترحة للتصرّف في حفظ البيانات الخام لفترة عشر سنوات على الأقل، بينما يمكن حفظ البيانات المعالجة (التي تم إقرارها، تجميعها، الخ) لأكثر من عشر سنوات.

٦-٥-٩ سيتطلب تخزين البيانات عملية صيانة، مثل القيام بانتظام باستنساخ البيانات من أحد الوسائط إلى آخر والقيام في الوقت ذاته بالفحص عن طريق المقارنة لأخطاء البيانات (الناقصة، المزوّرة). ويتعين كذلك توثيق هذه العملية لإدارة البيانات.

الاعتماد والترخيص

٦-٥-١٠ يجب القيام بعمليات فحص دورية للتأكد من تطبيق إجراءات الإدارة بصورة مناسبة. ويمكن تعيين مدققين داخليين من بين العاملين وتدريبهم من أجل هذا النشاط.

٦-٥-١١ حتى إذا كانت الشركات الخارجية لديها نظام قائم ومحفوظ للجودة، لا بد للزبون (المطار مثلاً، من أن يكون واثقاً في مثل هذا النظام. ولهذه الغاية، فإن المعيار الأدنى الحالي هو بطاقة ترخيص ISO 9001. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المعيار ISO 17025 مكيّف على وجه التحديد لنشاط القياس ونظراً لأنه يجمع بين إدارة الجودة القائمة على المبادئ التوجيهية للمعيار ISO 9001 وتركيز واضح على قدرة الفني، فهو أفضل طريقة لضمان ثقة الزبون.

المرفق ١ بالفصل السادس

وصف أساليب القياس المختارة

١- النظم الإيجابية

التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي

١-١ يمكن بنظام التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي الحصول على قياسات تلقائية على طول مسار بوضوح بالغ. ويستند المبدأ إلى امتصاص الضوء القائم على طول الموجة الذي تسبّبه الغازات. وتشمل معدات التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي وحدة جهاز إرسال وجهاز استقبال. ويُطلق شعاع ضوئي يتراوح طول موجته بين ٢٠٠ و٧٠٠ ميل بحري من جهاز الإرسال إلى جهاز الاستقبال ويمر إلى محلّل من خلال كابل من الألياف البصرية. وفي المسار، ستمتص غازات محددة الضوء من أجزاء معروفة من الطيف. ويسمح هذا لحاسوب المحلّل بقياس الغازات عن طريق مطياف. وداخل المطياف تقوم مجموعة من الألواح بتقسيم الضوء على خطوات إلى أطياف مختلفة. ويقارَن الآن الطيف الناتج عن ذلك بطيف مرجعي ويُحسب الفرق على أساس بولينومية. وبإجراء حسابات إضافية يتم تحديد طيف الامتصاص التفاضلي و، في النهاية، تركيز الغاز المعيّن. وهذه القياسات الوحيدة تلخَّص لقيم ثلاثين دقيقة. ويتم استخدام هذا النظام لطائفة من الملوّثات تشمل ثاني أكسيد النيتروجين والأوزون وثاني أكسيد الكبريت.

الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق

١-٢ يتيح الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق للمرء تحديد جزء الغبار الذي هو جسيمات دقيقة قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل. ويستند أسلوب الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق إلى مبدأ أن تردد أي مرشِّح اهتزازي يتغيّر مع ازدياد الكتلة. ويأخذ الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق عيّنات من الهواء معروفة الحجم، تمر من خلال مرشِّح في أعلى وحدة أخذ العيّنات. وهنا يتم فصل كل الجسيمات الدقيقة التي يكون حجم جسيّمها أكبر من ١٠ ميكرومترات. ثم يمر أخذ عيّنات الهواء عبر مرشِّح ثان تسقط عليه الجسيّمات الأصغر من ١٠ ميكرومترات. ويُحسب تركيز الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل من تغيّرات تردد اهتزاز المرشِّح. وتلخَّص القياسات الوحيدة إلى قيم خمس وثلاثين دقيقة.

جهاز الرصد الكتلي بتوهين بيتا

١-٣ جهاز الرصد الكتلي بتوهين بيتا هو جهاز أخشن وأقل تكلفة من الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق للرصد المستمر للجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل. وهو حاصل على ترخيص وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة (EFQM-0798-122) كأسلوب مساو للأسلوب القياسي لرصد الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل والجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل في الهواء المحيط. ويستخدم أسلوب جهاز الرصد الكتلي بتوهين بيتا مصدراً مستقراً للكربون المشعّ (^{14}C, 60 uCi)، ويقيس توهين إشعاع بيتا عن طريق جسيمات دقيقة مرسّبة على وسيط مرشِّح ويربط التوهين بالكتلة المرسّبة على المرشِّح. وتُقاس على حدة مستويات الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل أو الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل، على نحو يتوقف على جهاز تمييز حجم الجسيمات الدقيقة الموضوع قبل جهاز جمع المرشِّحات.

محلِّل أكاسيد النيتروجين

١-٤ يُستخدم محلِّل أكاسيد النيتروجين لقياس تركيز ثاني أكسيد النيتروجين. ويأخذ المحلّل عيّنتين من الهواء. ولا يخضع المورد الأول لأي تفاعل كيميائي، بينما يمر المورد الثاني عبر محوِّل يختزل ثاني أكسيد النيتروجين إلى أول أكسيد النيتروجين. ويتم تحليل كل من العيّنتين لتحديد أول أكسيد النيتروجين في خلية تفاعل واحدة، حيث يُقاس التألّق الكيميائي الناتج عن التفاعل بين أول أكسيد النيتروجين والأوزون. ويقيس الجهاز بالتناوب مجموع أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد النيتروجين. وتنتج عن الفرق بين القراءتين قيمة محسوبة لثاني أكسيد النيتروجين في الهواء المحيط.

محلِّل الأوزون

١-٥ في محلِّل الأوزون، تُجمع عيّنتان من الهواء. وتمر الأولى من خلال حفّاز يحيل الأوزون إلى ديوكسيجين. وتذهب العيّنة الثانية مباشرة إلى داخل خلية امتصاص (قياس مرجعي). ويقيس جهاز كشف كمية الإشعاع فوق البنفسجي المُرسَل. ويُحسب تركيز الأوزون من القيمتين المرجعيتين. وفترة القياس هي ٣٠ دقيقة.

الاستنتاجات

١-٦ تسمح المحلِّلات التلقائية بالقياس المستمر والتلقائي وعلى الانترنت والمقسَّم زمنياً لملوّثات الهواء، الذي تنتج عنه قياسات بالغة الوضوح لتركيزات الملوّثات كل ساعة، أو أفضل، في نقطة واحدة. ويتمثّل العيب الرئيسي لاتباع أسلوب مسار نقطي/بصري مستمر، مثل أسلوب التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي، في التكلفة العالية المرتبطة بشراء وصيانة المحلّلات. وبالتالي، قد تنتج عن ذلك كثافة شبكة منخفضة وتوزيع مكاني منخفض للقياسات. وتشكل المختبرات المتحركة المزوّدة بمحلّلات تلقائية تطبيقاً مفيداً لهذه التقنية بوصفها أداة لبرامج قياس تشمل مواقع عديدة ذات أهمية.

٢- النظم السلبية

أنابيب الانتشار

٢-١ أنابيب الانتشار هي أبسط وأرخص طريقة لتقييم نوعية الهواء المحلي من حيث الملوّثات الغازية ويمكن استخدامها لتقديم بيان عام لتركيزات التلوّث المتوسطة خلال فترات أطول من الوقت تتراوح من أسبوع إلى أكثر. وأكثر ما يشيع استخدامها لثاني أكسيد النيتروجين والبنزين (وكثيراً ما يكون ذلك مع التولوين وايثيل-بنزين و م+ب-اكسيلين و o-اكسيلين في صورة BTEX)، ولكنها مفيدة لقياس عدد من الملوّثات الأخرى مثل ١,٣-بوتاديين والأوزون وثاني أكسيد الكبريت.

٢-٢ عادة ما تتألف أنابيب الانتشار من أنبوب صغير (حجم أنبوب اختبار) عادة ما يكون مصنوعاً من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الزجاج أو البلاستيك الخامل، ويحتوي أحد طرفيه على وسادة من مادة ماصة ويُفتح الطرف الآخر لوقت انكشاف محدد. وبعد الانكشاف، يتم ختم الأنابيب وإرسالها إلى مختبر حيث يجري تحليلها باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات التي تشمل عمليات كيميائية وطيفية واستشرابية.

٢-٣ من الجدير بالملاحظة أن استخدام أنابيب الانتشار هو تقنية رصد إرشادية لا توفّر نفس الدقة كالمحلّلات التلقائية الأكثر تطوراً. وكذلك، نظراً لأن فترات الانكشاف يمكن أن تكون عدة أسابيع، لا يمكن مقارنة النتائج بمعايير وأهداف نوعية الهواء القائمة على فترات متوسطة أقصر مثل المعايير لكل ساعة. ولا يمكن كشف أحداث الذروة باستخدام أنابيب الانتشار لنفس السبب. ونتيجة لذلك، على الرغم من أنه يمكن استخدام أنابيب الانتشار من أجل تقديرات لفترة أقصر، يوصى بالقيام بالرصد بأنابيب انتشار ثاني أكسيد النيتروجين، بصفة خاصة، طوال سنة كاملة لأنه يمكن عندئذ إجراء تقديرات مقابل الأهداف للتركيزات المتوسطة السنوية.

٢-٤ يمكن أن تتأثر أنابيب الانتشار بعدد من البارامترات التي تجعل قراءتها زائدة أو ناقصة بالنسبة لقياس مرجعي، ولهذا السبب، فإن أفضل ممارسة هي استخدام ثلاثة أنابيب أو أكثر في كل نقطة رصد وضم مجموعة واحدة إلى جهاز رصد مستمر مرجعي قائم. وبهذه الطريقة يمكن تصويب أي انحراف عن طريق إعادة النتائج إلى جهاز الرصد المستمر (مثل جهاز رصد التألّق الكيميائي من أجل ثاني أكسيد النيتروجين)، وستحدد المقارنة بين الأنابيب أي خروج عن المألوف.

٢-٥ من المهم اختيار مواقع الرصد بأنابيب الانتشار بصورة صحيحة، وينبغي أن تسمح المنطقة المحيطة بموقع الأنابيب بدوران الهواء بلا عائق حول الأنابيب، مع تفادي المناطق ذات الاضطراب الأعلى من المعتاد مثل أركان المباني. وينبغي العناية بتجنّب الأسطح التي قد تعمل كممتصات محلية للملوّث الذي يتم قياسه، ولهذا السبب ينبغي عدم تثبيت أنابيب الانتشار مباشرة على الحوائط أو أسطح مستوية أخرى. وينبغي أيضاً تجنّب المصادر أو الأماكن الغائرة مثل فتحات التدفئة وفتحات تكييف الهواء وفتحات طرد الهواء، وكذلك الأشجار والمناطق الأخرى كثيفة النباتات.

٢-٦ تعني التكلفة المنخفضة نسبياً لأنابيب الانتشار أنه يمكن أخذ العيّنات في عدد كبير من النقاط على امتداد منطقة واسعة، ويمكن أن يُستخدم هذا لتحديد الاتجاهات النسبية وكذلك مناطق التركيزات العالية حيث يمكن من ثم إجراء دراسات أكثر تفصيلاً. وفي هذه الظروف، يكاد يكون من المؤكد أن تكلفة وصعوبة استخدام رصد مستمر أدق لإجراء نفس الدراسة عملية باهظة التكلفة.

الأكياس/العلب

٢-٧ لهذه التقنية للقياس، يتم جمع عيّنة "هواء كامل" بمواقع القياس المختارة عن طريق جذب عيّنة هواء محيط إلى داخل حاوية من نوع ما. وأكثر ما جرت عليه العادة هو أنه يمكن أن يكون هذا كيساً أو بصلة زجاجية أو "وعاء فولاذي للغازات المضغوطة" أو علبة من الفولاذ المقاوم للصدأ. وعلب الفولاذ المقاوم للصدأ والأكياس هي أكثر نظم الجمع شيوعاً. وقد يُحسَّن جمع عيّنة من الهواء بمضخة كهربائية صغيرة تعمل بنشاط لملء العلبة بعيّنة الهواء المحيط.

٢-٨ بمجرد جمع الغاز في العلبة، يتم تحليله خارج الموقع عن طريق أساليب مختلفة عديدة (مثل استخدام كيمياء المحاليل). ومكوّنات الهواء المحيط المقيسة كثيراً ما تكون أنواع هيدروكربون مختلفة.

٢-٩ تتركز مسائل نوعية البيانات عادة على استعادة الملوّثات من إناء الجمع. وتعتمد الاستعادة على عدة بارامترات تشمل الطبيعة الكيميائية للملوّث وخصائص سطح الإناء وضغط بخار الملوّث وتأثير المركّبات الأخرى العديدة التي تحتوي عليها المصفوفة والقدرة على البدء بإناء خال من التلوّث.

الاستنتاجات

٢-١٠ أساليب جمع العيّنات السلبية هي أساليب بسيطة ومجدية اقتصادياً توفّر تحليلاً موثوقاً لنوعية الهواء يقدم إرشادا جيداً بشأن تركيزات التلوّث المتوسطة خلال فترة أسابيع أو أشهر. وتشمل الأساليب الأخرى استخدام أجهزة صنع الفقاعات بالنسبة للملوّثات الغازية وتحليل المعادن الثقيلة التي تحتوي عليها الرواسب المعلّقة لترشيح الجسيمات الدقيقة.

٣- الأساليب الأخرى

المؤشرات البيولوجية

٣-١ المؤشرات البيولوجية، أو المؤشرات الحيوية، هي أنواع نباتات أو حيوانات توفّر معلومات عن التغيّرات الايكولوجية في أحوال موقع محدد بالاستناد إلى تفاعلاتها الحساسة مع الآثار البيئية. ويمكن أن توفّر المؤشرات البيولوجية علامات مشكلات بيئية وشيكة مثل تلوّث الهواء والماء أو تلوّث التربة أو تغيّر المناخ أو تجزئة الموئل. ويمكن أيضاً أن تقدم معلومات عن التأثير المتكامل لمجموعة متنوعة من الإجهادات البيئية وآثارها المتراكمة على صحة كائن حي و/أو سكان و/أو مجتمع محلي و/أو نظام ايكولوجي. وأنواع الحزاز هي مؤشر بيولوجي شائع الاستخدام لنوعية الهواء.

٣-٢ توجد أساليب مختلفة لاستقصاء أنواع المؤشرات، وعلى مستوى الكائن الحي المنفرد يمكن دراسة آثار التراكم البيولوجي. وعلى مستوى السكان، يمكن إجراء جميع دراسات التغيّرات المورفولوجية–أيسيولوجية والتغيرات في دورات الحياة والصحة النسبية للمجموعات السكانية وهياكل السكان والمجتمعات المحلية. ومن أمثلة الأساليب الميدانية الايكولوجية المستخدمة التأشير وإعادة القبض وتحديد نسب الجنس والعمر والاستقصاءات النقطية أو الخطية أو ذات الخطة أو غير المخططة للغطاء النباتي وتواترات النبات.

٣-٣ تتيح البيانات التي يتم الحصول عليها من أساليب القياس التقليدية مراقبة الامتثال لمعايير نوعية الهواء الجارية والقيم الحدّية. غير أن البيانات بشأن تركيزات الملوّثات المحيطة لا تتيح التوصل إلى استنتاجات مباشرة بشأن الآثار المحتملة على البشر والبيئة. ويمكن أن تقدَّم بمزيد من الدقة أدلة على الآثار الضارة من خلال استخدام المؤشرات البيولوجية. وتشمل المؤشرات البيولوجية أيضاً آثار جميع العوامل

البيئية، بما في ذلك التفاعلات مع الملوثات الأخرى، أو الأحوال المناخية. ويتيح هذا بتقدير خطر خلطات الملوّثات المتشعبة والآثار المزمنة التي يمكن أن تحدث حتى دون عتبة القيم.

٣-٤ لم يستقر بصورة جيدة جداً استخدام المؤشرات البيولوجية للنباتات لتقدير آثار تلوّث الهواء. ويتمثل أحد الأسباب الرئيسية لضعف قبول هذه المنهجية لرصد نوعية الهواء في التوحيد القياسي غير الكافي للتقنيات و، بالتالي، انخفاض قابلية النتائج للمقارنة.

المرفق ٢ بالفصل السادس

أمثلة لأساليب القياس

الجدول ٦-أ٢-١ — أمثلة لأساليب القياس (من أوروبا والولايات المتحدة)

الملوّث	الأسلوب المرجعي	أساليب أخرى
ثاني أكسيد الكبريت	الاستشعاع فوق البنفسجي	التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي
ثاني أكسيد النيتروجين وأكاسيد النيتروجين	التألّق الكيميائي	التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي
الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ١٠ ميكرومترات أو أقل	قياس الجاذبية	الميزان الاهتزازي المتناهي الصغر ذو العنصر المستدق (المتطوّر) توهين بيتا الشريط اللاصق (البسيط)
الجسيمات الدقيقة التي قطرها الأيروديناميي ٢,٥ ميكرومتر أو أقل	قياس الجاذبية	
الرصاص	قياس الجاذبية	
أول أكسيد الكربون	ارتباط مرشّح الغازات الأشعة تحت الحمراء غير المشتتة التحليل الطيفي (الاتحاد الأوروبي)	
الأوزون	القياس الضوئي بالأشعة فوق البنفسجية	التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي

المرفق ٣ بالفصل السادس

المراجع (مجموعة مختارة)

Aeroport de Paris — Charles de Gaulle, "Campagne de Prelevement de Dioxyde d'azote par Tubes Passifs," 2006.

Carslaw, D.C. et al., "Detecting and quantifying aircraft and other on-airport contributions to ambient nitrogen oxides in the vicinity of a large international airport," *Atmospheric Environment*, 40, 2006, pp. 5424–5434.

Chow et al., "PM2.5 chemical composition and spatiotemporal variability during the California Regional $PM_{10}/PM_{2.5}$ Air Quality Study (CRPAQS)," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D10S04, 2006.

Environmental Protection Agency, EPA's ambient air quality measurements guidance.

Fanning, E. et al., "Monitoring and Modelling of Ultrafine Particles and Black Carbon at the Los Angeles International Airport, Final Report," ARB Contract No. 04-325, prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA, 2007.

Federal Aviation Administration, *Aviation Emissions and Air Quality Handbook,* Version 3, Update 1 FAA-AEE-2014-12, http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/airquality_handbook/media/Air_Quality_Handbook_Appendices.pdf (accessed June 2020).

Henry, R.C. et al., "Locating nearby sources of air pollution by nonparametric regression of atmospheric concentrations on wind direction," *Atmospheric Environment* 36, 2002, pp. 2237–2244.

Henry, R.C., "Locating and quantifying the impact of local sources of air pollution," *Atmospheric Environment* 42, 2008, pp. 358–363.

Henry, R.C., "Receptor Modelling," *Encyclopaedia of Environmetrics,* A.H. El-Shaarawi and W.W. Piegorsch (eds.), John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2002.

RWDI, "Air Quality Study: Phase 4 — Ambient Air Quality Monitoring," Toronto Pearson International Airport, Toronto, Ontario, Canada, 2003.

Unique (Flughafen Zürich AG), "Air Pollution Monitoring," Concept and Description, 2007, www.zurich-airport.com (accessed June 2020).

Yu, K.N. et al., "Identifying the impact of large urban airports on local air quality by nonparametric regression," *Atmospheric Environment* 38, 2004, pp. 4501–4507.

Watson, J.G. et al., "Air Quality Measurements from the Fresno Supersite," *Journal of Air and Waste Management Association,* 50, 2000, pp.1321–1334.

www.heathrowairwatch.org.uk (accessed June 2020).

الفصل السابع

خيارات التخفيف

٧-١ مقدمة

٧-١-١ يمكن أن تؤدي المتطلبات التنظيمية القائمة لنوعية الهواء المحيط إلى الحاجة لوضع خطط للتخفيف مع تدابير محددة، ولا سيما عند تجاوز المعايير، أو يمكن أن تؤدي إليها الأنظمة أو الشروط المنصوص عليها في التراخيص لتشغيل المطارات و/أو لتوسيعها.

٧-١-٢ ينبغي أن تستند التدابير لخفض الانبعاثات من مصادر المطارات إلى معلومات مقدمة من قوائم حصر الانبعاثات و/أو معلومات التركيز. وهو، بصفته تلك، متطلب لتوفير مثل هذه المعلومات قبل تخطيط التدابير.

٧-١-٣ لا يناقش هذا الفصل المحتويات المحددة للتدابير أو ملاءمتها. بل بالأحرى، يتعين النظر في الظروف عند تصميم خطة للتخفيف.

٧-٢ منهجية تخطيط التخفيف

إطار لتدابير خفض الانبعاثات

٧-٢-١ عادة ما تندرج تدابير خفض الانبعاثات في أربع فئات استراتيجية مختلفة، أي: تنظيمية وفنية وتشغيلية واقتصادية، كما هو مبيّن على نحو أتم في ٧-٣. وتقدَّم في الجدول ٧-١ أمثلة لكل نوع من الاستراتيجية. ومن المهم ملاحظة أن قيمة هذه التدابير عند تطبيقها على مشكلة محددة ينبغي تقييمها على أساس كل حالة على حدة، وقد يتبين أن توليفة من التدابير هي أفضل طريقة للتقدم. وتهدف جميع التدابير إلى خفض الانبعاثات عند المصدر بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

٧-٢-٢ تشير "التدابير التنظيمية" إلى المتطلبات الإلزامية المبيّنة في القوانين واللوائح للاختصاص ذي الصلة والتي تحدد معايير الانبعاثات و/أو تشغيل مصادر الانبعاثات.

٧-٢-٣ تشير "التدابير الفنية" إلى التغييرات في التكنولوجيا المرتبطة بخصائص الانبعاثات من مصادر معينة. ويمكن أن تكون هذه تدابير متعلقة بخفض الانبعاثات عند مصدر الانبعاثات المباشر (مثل المركبة) أو يمكن أن تشمل أيضاً تدابير الهيكل الأساسي (مثل العزل، نسق الطريق).

٧-٢-٤ تشير "التدابير التشغيلية" إلى تلك التدابير التي ينفذها مشغّل المعدات المعنية، سواء كان شركة طيران أو سلطة مطار أو مستأجرين أو أي هيئة أخرى.

٧-٢-٥ يمكن أن تشمل التدابير الاقتصادية (القائمة على آليات السوق)[١] عدداً من الوسائل المختلفة لإدراج تكاليف النشاط الخارجية البيئية. ويجب القيام بتفريق أساسي في إطار سياسة الايكاو بين الضرائب التي تجمع إيرادات من أجل الاستخدام الحكومي العام، وبين الرسوم، التي تهدف إلى وتُطبّق على استرداد تكاليف توفير التجهيزات وتقديم الخدمات للطيران المدني.[٢] يمكن أن تتخذ التدابير الاقتصادية أيضاً شكل منح أو مخصصات حكومية.

---

١ فئة التدابير الاقتصادية لا تشمل الغرامات المقدّرة على منتهك المتطلبات التنظيمية التقليدية.

٢ سياسات الايكاو بشأن رسوم المطارات وخدمات الملاحة الجوية (الوثيقة Doc 9082)، الإضافة (ح) بقرار الجمعية العمومية ٣٧-١٨.

الجدول ٧-١ — لمحة عامة لتدابير خفض الانبعاثات (أمثلة)

مجموعة المصادر	التدابير			
	التنظيمية	الفنية (الهيكل الأساسي)	التشغيلية[1]	الاقتصادية
الطائرات	• القواعد القياسية الصادرة عن الايكاو لانبعاثات المحركات، حسبما اعتُمدت في القانون المدني للدول • القيود على تشغيل وحدة الطاقة الإضافية	• نسق المطار العام • عمليات الخروج من المدرج بسرعة عالية • الممرات الأرضية المتوازية • إدارة الانسياب • ٤٠٠ هيرتز/ الهواء المكيّف مسبقاً في الطائرة البوابات/المواقف	• بدء تشغيل المحرك • تحسين وضع الجداول الزمنية • سير الطائرة بمحرك واحد/بعدد مخفض من المحركات • تخفيض وقت الدوران البطيء للمحركات • جر الطائرات • تخفيض استخدام وحدة الطاقة الإضافية • الدفع بمعدل أدنى/المخفّض • غسل المحركات • استخدام وقود الطائرات النفاثة البديل • تدابير إدارة الحركة الجوية المحددة للمطار، بما في ذلك ملاحة المنطقة والأداء الملاحي المطلوب وعمليات النزول المستمر	• أنظر *إرشادات بشأن رسوم انبعاثات الطائرات المتعلقة بنوعية الهواء المحلي* (الوثيقة Doc 9884)[2]
الخدمات الأرضية والدعم للطائرات	• انبعاثات السيارات معايير لمعدات المساندة الأرضية (حسب الانطباق)	• معدات المساندة الأرضية للوقود البديل (غاز طبيعي مضغوط/ غاز طبيعي سائل، غاز البترول السائل، كهربائية) • سيارات أسطول الوقود البديل (غاز طبيعي مضغوط/غاز طبيعي سائل، غاز البترول السائل، كهربائية) • أجهزة خفض الانبعاثات (مصائد ترشيح الجسيمات الدقيقة، الخ.) • أجهزة التقاط الأبخرة	• خفض الخصائص التشغيلية للمركبات • استخدام مولدات الكهرباء، وحدات الطاقة الأرضية، أجهزة بدء التشغيل بالهواء • خفض شدة ممارسات النيران الساخنة.	• رسوم الترخيص المتعلقة بالانبعاثات
الهيكل الأساسي والمصادر الثابتة	• معايير الانبعاثات للتجهيزات (مثل وحدات القدرة، مولدات الكهرباء للطوارئ)	• وحدة الطاقة ذات الانبعاثات المنخفضة، المحرقة (ربما المرشّحات) • تدابير توفير الطاقة في البناء الجديد وصيانة المباني • تغيير استخدام الوقود • التغيير في ارتفاعات المداخن ومواقعها	• إجراءات خفض الانبعاثات لعمليات الصيانة (الطلاء، اختبار المحركات، التنظيف)	
حركة الدخول إلى المنطقة المفتوحة للجمهور	• معايير انبعاثات السيارات • القيود على الدوران البطيء	• تحسين النقل العام والارتباطات بين وسائل النقل المختلفة • نسق بنية الطرق • أنواع الوقود البديلة • الممرات المخصصة لحركة الجمهور	• التسجيل خارج المطار • المواقف التفضيلية للمركبات التي تستخدم الوقود البديل • الصفوف التفضيلية لسيارات الأجرة "الخضراء"	• تقاسم العاملين للمركبات/ حوافز التشارك في السيارات • تحديد أسعار مواقف السيارات وتقديم مبالغ دعم حكومي • حوافز النقل العام

١ بعض التدابير التشغيلية المنصوص عليها في هذا الجدول قد يتم القيام بها إما على أساس طوعي وإما على أساس تنظيمي. وتختلف قوانين شتى الدول بصدد حق السلطات على المستوى الإقليمي والمحلي في المطالبة بالممارسات التشغيلية أو تنظيمها. وفي الحالات التي يكون فيها لأي سلطة اختصاص قانوني، يجوز لها أن تطلب ممارسة تشغيلية عن طريق التنظيم (مثل القيود على تشغيل وحدة الطاقة الإضافية، القيود على الدوران البطيء للمركبات). وعندما يكون التنظيم غير مسموح به، قد تتمثل جهود إدارة الانبعاثات في مشاورات غير رسمية، اتفاقات طوعية، الخ.، تشجّع على اتباع مثل هذه الممارسات وتتيقّن من مدى اتباعها وتأثيره البيئي. وعندما تكون سلطة المطار هي مالكة أو مشغّلة مصدر الانبعاثات المعني، تكون لها السلطة، في حدود ولاياتها القانونية، لاختيار خيارات قادرة على الاستمرار وتنفيذها.

٢ لا يتناول هذا الفصل التدابير القائمة على آليات السوق، مثل الرسوم والضرائب، المتعلقة بانبعاثات محركات الطائرات التي تؤثر على نوعية الهواء المحلي. ويتم تناول مثل هذه التدابير في الوثيقة Doc 9884.

متطلبات خيار التخفيف

٧-٢-٦ عند استعراض قابلية تدابير التخفيف المختلفة للتطبيق، يوصى بإجراء تقييم للنتائج الإيجابية والسلبية المحتملة لتنفيذ تلك التدابير. وينبغي أن يشمل التقييم ما يلي:

أ) الجدوى الفنية؛

ب) المعقولية الاقتصادية؛

ج) الفوائد البيئية؛

د) التكافلات المحتملة.

٧-٢-٧ ***الجدوى الفنية*** **—** ينبغي أن تكون التكنولوجيا المتوقعة متوافرة وقوية على نحو معقول لاستخدامها للتدبير. وهكذا، يتم تطوير التكنولوجيا وقد تكون طُبّقت فعلاً في مكان ما. ومن المرتقب أنه لن تكون هناك حاجة، أو ستكون هناك حاجة محدودة فقط، إلى بحوث التكنولوجيا والتطوير.

٧-٢-٨ ***المعقولية الاقتصادية*** **—** ينبغي للقرارات بشأن التدابير، أو توليفاتها، أن تأخذ بعين الاعتبار تقييماً للجدوى الاقتصادية النسبية للخيارات المتاحة. وينبغي تقييم وميزنة التكاليف التي تنشأ عن تنفيذ التدابير المختارة وينبغي أن تكون معقولة للفوائد المرتقبة. ومن جهة أخرى، إذا كانت التدابير تنطوي على أي احتمال لتوفير التكاليف أو حتى لإيرادات إضافية، ينبغي تقييم هذا أيضاً.

٧-٢-٩ ***الفوائد البيئية*** **—** ينبغي أن يتم القياس الكمّي لفوائد تخفيض الانبعاثات أو أن يتم على الأقل تقديرها بصورة معقولة من أجل الأنواع والخيارات المختلفة. وينبغي تحديدها في ما يتعلق بانبعاثات المطار الإجمالية ومساهمتها في الانبعاثات بالمنطقة الجغرافية ذات الصلة بمقتضى القانون أو التنظيم المحلي. وإذا كان هدف التدابير هو خفض أو منع تجاوزات المعايير التنظيمية لنوعية الهواء، يجب تقييم المنافع بناء على تلك المعايير. وقد يكون من الضروري إعداد نماذج نوعية الهواء، وخاصة إعداد نماذج التشتت لتركيزات الملوّثات الأولية (المنبعثة مباشرة) والملوّثات الثانوية لتقدير الانخفاض في التجاوزات المتوقعة من مختلف مجموعات التدابير والسماح بالمقارنة مع معايير نوعية الهواء المحيط. وكذلك، من أجل تقدير أي من مصادر الانبعاثات هي أكبر المساهمات في أي تجاوز معيّن، قد يكون من الضروري إجراء حسابات توزيع المصادر مع تخصيص زماني ومكاني باستخدام نموذج تشتت ملائم.

٧-٢-١٠ ***التكافلات المحتملة*** **—** ينبغي تقييم التدابير بالنسبة للتناقضات المحتملة مع الأولويات البيئية الأخرى مثل خفض الضوضاء وكذلك بالنسبة لأي علاقات متبادلة إيجابية قد تحدث.

نهج التخطيط

٧-٢-١١ يوصى باعتماد نهج إدارة (خطّط — افعل — تحقّق — تصرّف) على النحو المبيّن في الفقرات التالية.

٧-٢-١٢ ***تعرّف على المشكلة*** **—** ما هي الانبعاثات التي تحتاج إلى خفض ومن أي تأتي هذه الانبعاثات؟ وبالرجوع إلى قائمة حصر الانبعاثات مع المصادر المختلفة ثم تحليل التنبؤات بالتركيز الناتجة عن نموذج للتشتت، يمكن وضع خطة لمعالجة مصادر الانبعاثات الصحيحة.

٧-٢-١٣ ***حدّد الأهداف*** **—** ما هي أهداف خفض الانبعاثات التي ينبغي تحقيقها؟ يجب اكتساب فهم للمتطلبات التنظيمية التي توجد حاجة إليها من أجل امتثال نوعية الهواء المحلي و/أو تنفيذ المشروع.

٧-٢-١٤ ***ضع حلولاً*** **—** ما هي الخيارات المتاحة لخفض الانبعاثات بالاستناد إلى المشكلات التي تم التعرّف عليها والأهداف المحددة؟ من المطلوب إجراء تقييم شامل لاستراتيجيات التخفيف الممكنة، بالاستناد إلى متطلبات خيار التخفيف السابقة، لتحديد أكثر طريقة ملائمة للتقدم في سبيل تحقيق الأهداف.

٧-٢-١٥ ***قم بتقدير الجدوى الاقتصادية للخيارات*** — ما هي الجدوى الاقتصادية النسبية للتدبير، أو التوليفات من التدابير، قيد النظر؟ كيف يمكن تحقيق تخفيضات الانبعاثات المنشودة بأكثر طريقة مجدية اقتصادياً؟

٧-٢-١٦ ***استعراض أصحاب المصلحة*** — هل هذه الخطة مقبولة لجميع الأطراف المعنية؟ تكوين فريق استعراض من أصحاب المصلحة ورعاية منابر الاستعراض العام هما جزء لا يتجزأ من أي برنامج تخفيف ناجح.

٧-٢-١٧ ***نفّذ التدابير*** — ماذا يحدث بعد أن تم قبول الخطة؟ ينبغي أن توجد داخل الخطة معالم واضحة لكيفية وموعد تنفيذ خيارات التخفيف بما في ذلك ما هو متوقع من جميع أصحاب المصلحة، ومجموعة من الغايات للمساعدة على تحقيق جميع الأهداف وجدول زمني.

٧-٢-١٨ ***ارصد/استعرض البرنامج*** — هل يفي البرنامج بالتوقعات؟ يتمثل أحد الأمور الحاسمة بالنسبة لنجاح خطة التخفيف في وضع إجراءات للمراقبة تشمل مقياس أداء لرصد التقدم نحو النتيجة المنشودة والتحقق من النجاح والفوائد ورصد أداء التكلفة وكذلك تحديد أوجه النقص غير المتوقعة. ويمكن من ثم استخدام نتائج هذا الاستعراض لتحليل البرنامج وتزويد الخطة بالمعلومات المستقاة.

٧-٢-١٩ تصميم ووضع التدابير هما عمليتان تشملان عدداً من أصحاب المصلحة ولا تشملان طرفاً واحداً فقط. وينبغي تقييم ومقارنة تدابير مختلفة قبل اتخاذ أي قرار والبدء في العمل. ولإعداد الوثائق بصورة سليمة، أوضحت الأمثلة فائدة وصف منظم الهيكل للتدابير (أنظر ٧-٢). وداخل خطة التخفيف، يمكن من ثم ترتيب التدابير حسب الفوائد الايكولوجية أو التكاليف أو الأطر الزمنية للتنفيذ. ويسهّل هذا تحديد الأولويات للتنفيذ الفعلي.

الجدول ٧-٢ — وصف منظم الهيكل للتدابير

العنصر	المحتوى
الوضع	يبيّن الأساس أو المشكلة التي يتعين تناولها.
الغايات	يصف التدبير والغايات المتوقعة.
المسؤوليات	يحدد من المسؤول عن التنفيذ (المنظِّم، مشغّل المطار، شركة الطيران، المستأجر).
الواجهات البينية/الشركاء	يصف الشركاء الآخرين المعنيين أو الذين يتعين مخاطبتهم.
الامتثال القانوني	يصف الأساس القانوني الذي يقوم عليه التدبير (إذا كان مطلوباً) أو يقترح التغييرات المطلوبة التي يتعين البدء فيها بغية تحقيق الامتثال.
الفوائد البيئية	يقيس كيفياً وكمّياً تخفيضات الانبعاثات أو التركيز باستخدام هذا التدبير.
التكاليف الاقتصادية	يقيس كمّياً التكاليف المرتبطة بتنفيذ التدبير أو توليفة من التدابير (تكاليف الاستثمارات والتشغيل) قيد النظر والجدوى الاقتصادية النسبية للخيارات المتاحة، مع ملاحظة أنه قد توجد أيضاً وفورات في التكاليف مرتبطة بالتدبير.
التكافلات	يصف المعاوضات أو التكافلات (أنواع الانبعاثات — أنواع الانبعاثات والانبعاثات — الضوضاء) ويتيح خيارات لتخفيفها.
التنفيذ	يقدم بعض المبادئ التوجيهية المحدودة بشأن كيفية تنفيذ التدبير.
الإطار الزمني	يحدد الأطر الزمنية وحتى المواعيد النهائية للتنفيذ.
التقييم	يقدم تقييماً للتدبير وتوصية للتنفيذ.

٧-٣ خيارات التخفيف

٧-٣-١ قد يتم تجميع تدابير إدارة الانبعاثات القابلة للتطبيق على المصادر في المطارات في أربع فئات واسعة بينما يتم أيضاً تجميع مصادر الانبعاثات في أربع فئات رئيسية. ويوفر الجدول ٧-١ مصفوفة بمجموعات المصادر وفئات التدابير ويقدم أمثلة للتدابير الممكنة. وينبغي ملاحظة أن التدابير الواردة في القائمة قد لا تكون مرغوبة أو حتى قابلة للتطبيق في كل حالة ويوجد كثير من الخيارات الممكنة الأخرى. وينبغي كذلك ملاحظة أنه ليس جميع التدابير تحت سيطرة المطار ومن المطلوب التعاون مع هيئات أخرى.

٧-٣-٢ لا تبيّن الأمثلة المقدمة في الجدول ٧-١ فعالية التدابير لأن الفعالية ستتغير من مطار لآخر، ولكن الجدول يبيّن أين يجوز وضعها في الهيكل الإجمالي.

٧-٣-٣ يتم على أفضل وجه تحديد التدابير المختارة لاستخدامها في مطار معين على أساس الاعتبارات المحلية وبالتعاون مع أصحاب المصلحة المختصين في تشغيل المطار واستخدامه. وستستمر أفضل الممارسات في التطوّر، وينبغي أن تواصل سلطة المطار تقييم الفرص وإشراك أصحاب المصلحة المحليين وتحدّيهم ليساهموا بقسطهم العادل في سبيل خفض الانبعاثات المتصلة بالمطار.

المرفق بالفصل السابع

المراجع

Airports Council International (ACI), 2009, *Policy and Recommended Practices Handbook.* Section 6.2 of this handbook describes emissions and local air quality and illustrates potential measures to reduce emissions at source.

ICAO, 2018, *Airport Planning Manual* (Doc 9184), Part II — *Land Use and Environmental Management*). Chapter 3 of Doc 9184, Part II, outlines emissions control measures that airport operators themselves, or in cooperation with aircraft operators, can employ for aircraft, ground support vehicles and airport facilities.

ICAO, 2014, *Operational Opportunities to Reduce Fuel Burn and Emissions* (Doc 10013). Doc 10013 documents practices that all aviation stakeholders can consider in order to reduce fuel consumption and the resultant emissions. The document outlines principles of fuel savings by identifying operational opportunities and techniques for reducing fuel use that in turn decrease the amount of emissions from aviation.

الفصل الثامن

العلاقات المتبادلة المرتبطة بأساليب تخفيف الآثار البيئية

٨-١ مقدمة

٨-١-١ عند تحليل أساليب تخفيف الآثار البيئية للطيران، وعمليات الطائرات بصفة خاصة، من المهم ملاحظة أنه يمكن أن توجد علاقات متبادلة عديدة بين الآثار البيئية والعوامل الأخرى، مثل الآثار على المجال الجوي وسعة المدرج واستخدام المجال الجوي والطريقة التي يُدار بها في المطارات المختلفة، الخ.

٨-١-٢ على الرغم من أن الفصل السابع يناقش خيارات التخفيف لعدد من فئات المصادر المختلفة، وأنه توجد علاقات متبادلة بالنسبة لمصادر غير الطائرات تؤثر، مثلاً، على الضوضاء وثاني أكسيد الكربون/غازات الدفيئة وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة والانبعاثات الأخرى، لا تُحظى هذه التكافلات بمزيد من المناقشة في هذا الفصل الذي يركّز على عمليات الطائرات فقط.

٨-١-٣ علاوة على ذلك، وبسبب أن هذه الوثيقة تتناول إرشادات تتعلق بنوعية الهواء المحلي في المطارات وحولها، لا يتناول هذا الفصل العلاقات المتبادلة الناجمة عن مراحل أثناء الطريق من الرحلة الجوية ولكنه عوضاً عن ذلك يركز على تلك التي تؤثر على عمليات الطائرات على مستويات أدنى (عادة أدنى من ٠٠٠ ٣ قدم (٩١٤ متراً)) في "دورة الرحلة الجوية التشغيلية للهبوط والإقلاع" المفصّلة في الفصل الثاني.

٨-١-٤ لاحظ أن تأثير خيط انبعاثات أي طائرة، على ارتفاع ٠٠٠ ٣ قدم أو فوقه، على تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين على سطح الأرض ضئيل للغاية حتى في تحليل معتدل للغاية،[١] [٢] و ٠٠٠ ١ قدم هو الارتفاع الحدّي المعتاد بالنسبة للشواغل المتعلقة بثاني أكسيد النيتروجين على سطح الأرض.[٣]

٨-١-٥ كثيراً ما تكون العلاقات المتبادلة بين الضوضاء وأكاسيد النيتروجين وانبعاثات حرق الوقود/ثاني أكسيد الكربون متشعّبة ويمكن أن تكون غير واضحة وصعبة الفهم. ونتيجة لذلك، فهي تتطلب تقييمها بعناية لتقدير نتائج التغييرات لممارسات التشغيل قبل اتخاذ قرارات تشغيلية أو تنظيمية. وقد توجد أيضاً علاقات متبادلة بين الآثار البيئية والعوامل الأخرى، مثل سعة المطار أو المجال الجوي، يجب تحديدها قبل اعتزام أي تغييرات.

٨-١-٦ لدى بعض التقنيات التشغيلية القدرة على إتاحة تحسينات في الضوضاء وحرق الوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة والانبعاثات الأخرى بدون معاوضات هامة. ومن مثل هذا التمكين من القيام بعمليات النزول المستمر حيث يتم تخفيض الضوضاء والانبعاثات المحلية (مع الاستثناء الممكن لانبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربون) وانبعاثات حرق الوقود/ثاني أكسيد الكربون جميعاً بقدر أكبر أو أقل، على الرغم من أن قد يكون له تأثير على سعة المطارات عالية النشاط بصورة تتوقف على طريقة إدارة المجال الجوي والفصل والعوامل الأخرى. غير أن معظم تقنيات التخفيف التشغيلية تتبدّى فيها علاقات متبادلة وتقتضي إجراء معاوضات مقابل ١ أو أكثر من العوامل.

---

١ Roger L. Wayson, and Gregg G. Fleming, "Consideration of Air Quality Impacts by Aeroplane Operations at or above 3000 ft AGL," FAA-AEE-00-01, DTS-34, United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, September 2000..

٢ U. Janicke, E. Fleuti, and I. Fuller. "LASPORT — A Model System for Airport-related Source Systems Based on a Lagrangian Particle Model," *Proceedings of the 11th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Cambridge, United Kingdom, 2007, http://www.harmo.org/Conferences/Proceedings/_Cambridge/publishedSections/Op352-356.pdf (accessed June 2020).

٣ الايكاو، آثار إجراءات تخفيف حدة الضوضاء عند المغادرة الواردة في إجراءات خدمات الملاحة الجوية ــ العمليات على الضوضاء والانبعاثات الغازية (كتاب الايكاو الدوري رقم 307 Cir)، منظمة الطيران المدني الدولي، ٢٠٠٨.

٨-١-٧ مع ازدياد شدة الضغوط التنظيمية والتشغيلية لتخفيض الآثار البيئية لعمليات الطائرات، تميل المعاوضات الناشئة عن هذه العلاقات المتبادلة لأن تُصادَف بصورة أكثر تواتراً وتصبح معالجتها أصعب.

٨-٢ توصيات لتقييم التكافلات

٨-٢-١ يمكن أن يكون تحديد وحساب الآثار البيئية والعلاقات المتبادلة متشعّبين وغامضين في الوقت ذاته. وكثيراً ما يتطلب ذلك إعداداً معقداً لنماذج الآثار يمكن القيام به فقط بالاقتران مع مدخلات تقدمها نماذج متطورة متوافرة لصانعي الطائرات والمحركات وغيرهم من مجموعات الخبراء في هذا المجال.

٨-٢-٢ بغية تحديد الآثار البيئية بصورة صحيحة، حيث ينطوي الأمر على تكافلات، يتعين إجراء حسابات حرق الوقود بصفة خاصة إلى نقطة مشتركة على طول الشكل الجانبي لمسار الطيران. وهذا مهم، وبخلاف ذلك قد تُستنتج اختلافات لا تمثّل انعكاساً حقيقياً للحالة بأكملها.

٨-٢-٣ بالنسبة لآثار نوعية الهواء المحلي، فإن الاختلافات المحددة لقوائم حصر الانبعاثات ليست بالضرورة متسقة مع الاختلافات في آثار نوعية الهواء المحلي لأن موضع مصدر الطائرة من حيث علاقته بموقع الاستقبال قوي الصلة بالموضوع بسبب تشتت الانبعاثات، إلى جانب الأحوال الجوية المحيطة. ونتيجة لذلك، فإن تخفيضاً شاملاً في قائمة حصر الانبعاثات قد لا ينتج عنه دائماً تخفيض لآثار نوعية الهواء المحلي — ويصدق هذا بصفة خاصة إذا حدث التخفيض كله في مكان مرتفع.

٨-٢-٤ تحليل العلاقات المتبادلة للضوضاء هو كذلك مسألة متشعّبة، ويمكن أن تنتج عن التقنيات المختلفة اختلافات في التعرّض للضوضاء في نقاط مختلفة على طول، أو بجانبي، مسار الطيران (أحياناً بعلامة مختلفة). لاحظ أنه بالنسبة للطائرات ذات المحركات التوربينية المروحية، أو الطائرات ذات المحركات المروحية الأخرى، قد تكون النتائج حتى غير متماثلة بسبب اتجاه دوران المراوح، وتحتاج تأثيرات هذا إلى النظر فيها بعناية عند تحليل المعاوضات لأي تقنية تخفيف.

٨-٢-٥ قد يتخذ القرارات السياسية المنظمون أو المطار المنفرد أو مشغّلو الطائرات. ومن المهم أيضاً إدراك القيود القانونية والسياسات البيئية الدولية والوطنية والمحلية الأخرى التي قد تحدد هي أنفسها العامل البيئي المسيطر الذي يتعين إبلاغه المستوى الأمثل على حساب المسائل الأخرى.

٨-٢-٦ لاحظ أن إجراءات خدمات الملاحة الجوية — العمليات الصادرة عن الايكاو(الوثيقة PANS-OPS, Doc 8168) تحدد مبدأ أن مشغّل الطائرة ينبغي أن لا يضع أكثر من إجراءين لتخفيف حدة الضوضاء لكل طراز من الطائرات. وتوصي بأنه ينبغي أن يوفر إجراء واحد فوائد بالنسبة للضوضاء للمناطق القريبة من المطار ويوفرها الآخر للمناطق الأبعد من المطار. ويمكن أن يحدد هذا الاقتضاء أيضاً قيداً على ما يمكن تحقيقه.

٨-٢-٧ من المهم أولاً للأسباب المبينة أعلاه إشراك جميع أصحاب المصلحة المعنيين، أي: مشغّلي الطائرات والمطارات وصانعي الطائرات والمحركات والمطارات ومقدمي خدمة الملاحة الجوية وراسمي السياسات والمنظمين، في عملية التقدير في أكثر وقت مبكّر ممكن.

٨-٢-٨ تحدد الأقسام التالية عدداً من أمثلة العلاقات المتبادلة التي توجد في العمليات الأرضية ومرحلتي المغادرة والوصول على التوالي. غير أنه ليس المقصود بها إما أن تكون نهائية وإما أن تكون شاملة، ولا ينبغي اعتبارها داعية إلى أي خيار معيّن للتخفيف. بيد أنه يُقصد بهذه الأمثلة تقديم إرشاد عملي لأنواع العلاقات المتبادلة الموجودة بالنسبة لممارسات معينة وينبغي اعتبارها مجموعة فرعية لجميع تلك التي توجد في العمليات اليومية الحقيقية.

٨-٣ العلاقات المتبادلة التشغيلية للعمليات الأرضية

٨-٣-١ يتوافر عدد من الممارسات المختلفة لاستخدامها خلال العمليات الأرضية، على الرغم من أنه يمكن وجود علاقات متبادلة متشعّبة وآثار غير متوقعة على أجزاء أخرى من دورة الطيران عن طريق اتباع بعض الممارسات المبيّنة. وعلى الرغم من أن الأخطار على السلامة من استعمال تقنيات مختلفة أقل على الأرض مما هي في الجو، لأن أسباب السلامة أو فقدان الأجهزة أو عواقب الأجسام الغريبة أو

لفح النفّاث كلها يمكن أن تحد ما هو ممكن. والآثار التشغيلية غير البيئية على أوقات الاستدارة القصيرة والسعة في بعض المطارات بالنسبة لبعض أنواع العمليات يمكن أن تتأثر بتقنيات مختلفة أكثر من تأثرها بالاختلافات في الإجراءات على متن الطائرات.

٨-٣-٢ ترد في الجدول ٨-١ بعض أمثلة آثار التقنيات/الإجراءات المختلفة بالنسبة للعمليات الأرضية وتأثيرها البيئي على الضوضاء والوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي). وقد تُضاف في تاريخ لاحق أنواع انبعاثات أخرى، مثل الجسيمات الدقيقة وأول أكسيد الكربون والهيدروكربون، عند توافر مزيد من المعلومات.

الجدول ٨-١ — العلاقات المتبادلة البيئية بالنسبة للعمليات الأرضية

	التأثير البيئي على:			
التقنية	الضوضاء	الوقود/ثاني أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي)	تعليقات
استخدام مصادر ثابتة للقدرة والهواء المكيّف مسبقاً، فوق وحدات الطاقة الإضافية	خُفّضت ضوضاء ساحة وقوف الطائرات، خُفّضت الضوضاء الأرضية	خُفِّض	خُفِّضت	تأثير سلبي محتمل على أوقات الاستدارة القصيرة، وخاصة عند استخدام الهواء المكيّف مسبقاً.
سير الطائرة للدخول مع تشغيل أقل من جميع المحركات	من المحتمل أنها خُفّضت، مع أنها قد تخفيها القدرة الزائدة من المحركات العاملة المتبقية	خُفّضت، مع أنها ستتأثر بأي زيادة قدرة يتطلبها تشغيل المحركات	خُفّضت، مع أنها ستتأثر بأي زيادة قدرة يتطلبها تشغيل المحركات	يتعين معالجة عدد من شواغل السلامة قبل القيام بهذا. وقد تعني المتطلبات التشغيلية أنه لا بد من تشغيل وحدة الطاقة الإضافية مما سيقلل الفوائد، وقد توجد اعتبارات تشغيلية أخرى.
سير الطائرة للخروج مع تشغيل أقل من جميع المحركات	من المحتمل أنها خُفّضت، مع أنها قد تخفيها القدرة الزائدة من المحركات العاملة المتبقية	خُفّضت، مع أنها ستتأثر بأي زيادة قدرة يتطلبها تشغيل المحركات	خُفّضت، مع أنها ستتأثر بأي زيادة قدرة يتطلبها تشغيل المحركات	يتعين معالجة عدد أكبر من شواغل السلامة قبل القيام بهذا. وقد تعني المتطلبات التشغيلية أنه لا بد من تشغيل وحدة الطاقة الإضافية مما سيقلل الفوائد، وقد توجد اعتبارات تشغيلية أخرى. ويوجد أيضاً مزيد من قيود السلامة والقيود التشغيلية على هذه الممارسة أكثر مما يوجد على سير الطائرة للدخول.
جر الطائرات	خُفِّضت	خُفِّض	من المحتمل أنها خُفِّضت، ولكن ذلك يتوقف على مستوى تكنولوجيا جرار الطائرات	قد يكون اكتظاظ الممرات الأرضية مسألة كبيرة في بعض المطارات. وقد لا تفي بعض الطائرات بمتطلبات قوة دعامة العجلة الأمامية. وستخفَّض حالات الأجسام الغريبة. وقد يكون الغطاء الواقي من النار عند بدء التشغيل مسألة، وبالنسبة لبعض الطائرات، سيتعين توافر جرارات متخصصة.
الانتظار على الأرض	ازدادت (لاحظ)	ازداد (لاحظ)	ازدادت (لاحظ)	يُطلب أحياناً ضمان استخدام المدرج بكفاءة حيث يوفّر هذا العامل الذي يحد من السعة، لذلك قد يكون للانتظار على الأرض تأثير على السعة.

ملاحظة — على الرغم من أن الضوضاء وانبعاثات الوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ستزيد بالنسبة لعدم الانتظار، فستكون أقل من البديل المتمثل في الانتظار في الجو — أنظر ٨-٥-٦.

استخدام وحدات الطاقة الإضافية

٨-٣-٣ من المفيد عادة تقييد استخدام وحدات الطاقة الإضافية على الطائرات إذا توافرت في البوابة/الموقف مصادر تموين بديلة. غير أنه، لأسباب تتعلق بالسلامة، فإن بعض البدائل الواردة في الجدول ٨-١ تتطلب وحدة الطاقة الإضافية لتوليد الطاقة، أو تقديم المساندة المكررة المطلوبة لتوليد تلك الطاقة، تسمح نظم معينة بأداء التقنية المبيّنة. وإذا اتُبعت هذه التقنية فلا مفر من أنها سيكون لها تأثير (زيادة) في استخدام وحدة الطاقة الإضافية في البوابة، ولذلك فإن الآثار البيئية لبعض هذه العلاقات المتبادلة هي أنفسها مترابطة. وفي هذه الحالة، فإن الإيجابيات والسلبيات للدورة التشغيلية بأكملها يتعين تحليلها بعناية لتحديد ما هي أفضل ممارسة لتخفيض الآثار البيئية للدورة بأكملها. لاحظ أن هذا قد تنتج عنه ممارسات مختلفة لطرز الطائرات المختلفة في مطارات مختلفة.

٨-٤ العلاقات المتبادلة التشغيلية بالنسبة لعمليات المغادرة

٨-٤-١ يمكن أن تكون مرحلة الإقلاع متشعّبة، مع عدد من القطاعات، تنطوي على تغييرات للسرعة وشكل الطائرة وضبط قدرة المحرك. ويوجد أيضاً عدد من البارامترات التي يمكن تغييرها لتبديل آثار الضوضاء وانبعاثات حرق الوقود و، كذلك، لها تأثير على تكاليف الصيانة واستخدام المجال الجوي، وهي كلها أمور تعزز من تشعّب هذه المرحلة.

٨-٤-٢ ترد في الجدول ٨-٢ بعض الأمثلة لآثار تقنيات/إجراءات الإقلاع والصعود وتأثيرها البيئي على الضوضاء والوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي).

أهمية الوزن عن الإقلاع المحدود بالأداء

٨-٤-٣ الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء لأي عملية معينة هو الوزن الأقصى الذي يمكن استخدامه للأحوال السائدة في الوقت المعني، وهو محدود فقط بالأطوال المعلنة للمدرج واعتبارات اقتضاء الصعود — أي، مع تجاهل أي قيود تحد من ذلك تفرضها الأوزان الهيكلية المرخّصة، أبما في ذلك الحد الأقصى للوزن عند الإقلاع والحد الأقصى للوزن عند الهبوط.

٨-٤-٤ معظم التقنيات التشغيلية التي تؤثر على شكل الطائرة عند الإقلاع لها تأثير على الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء لأي مدرج معيّن وحالة جوية. والتغييرات لأي من خصائص طول المدرج المستخدم، مثل اختيار نقطة وسيطة لبدء الإقلاع أو تخفيضات للمسافات المعلنة بسبب الأشغال الجارية، يمكن أيضاً أن يكون لها تأثير على الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء.

٨-٤-٥ الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء هو بارامتر هام لتقييم تأثير انبعاثات أكاسيد النيتروجين لأن الفرق بين الوزن الفعلي للطائرة عند الإقلاع والوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء يحدد بقدر كبير المقدار الأقصى لتخفيض الدفع المتاح لاستخدامه خلال الإقلاع. ويُعزى هذا إلى حد كبير للعلاقة بين انبعاثات أكاسيد النيتروجين والقدرة الفعلية المستخدمة للإقلاع، مما يؤثر على كمية أكاسيد النيتروجين المنبعثة (يمكن أن ينتج عن الزيادات في القدرة صدور مقدار أكبر بكثير من أكاسيد النيتروجين). غير أن من الجدير بالملاحظة أن ذلك نفسه لا يصدق بالضرورة على انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربون حيث يكون للقدرات الأدنى تأثير سلبي بقدر ضئيل.

٨-٤-٦ من جهة أخرى، على الرغم من أن الآثار على الضوضاء متشعّبة، والزيادات في القدرة ستزيد مستويات الضوضاء للجري على الأرض وبالقرب من المطار، بمجرد أن تحلّق الطائرة، عادة ما تعوّض آثار زيادة المسافة فوق المدرج بسبب التدرّج الأعلى للصعود عن أي زيادات في ضوضاء المصدر وعادة ما تكون مستويات الضوضاء تحت مسار الطيران منخفضة. ومع ذلك قد تزداد الآثار على مناطق نطاق انتشار الضوضاء بسبب أن خصائص التوهين الجانبي لمصدر الضوضاء الصاعدة أقل تأثراً بالقرب من الأرض.٤

٨-٤-٧ ستكون الآثار على انبعاثات حرق الوقود وثاني أكسيد الكربون ضئيلة وقد تكون إما إيجابية وإما سلبية على نحو يتوقف على الظروف الفردية وطراز الطائرة قيد النظر. ونتيجة لذلك، سيتعين تقديرها لكل ظرف منفرد.

٨-٥ العلاقات المتبادلة التشغيلية بالنسبة لعمليات الوصول

٨-٥-١ على نقيض عمليات المغادرة، فإن معظم تقنيات الوصول تتضمن قليلاً من المعاوضات أو لا تتضمن معاوضات تُجرى بين الآثار البيئية المختلفة. غير أنه قد توجد فعلاً آثار على بارامترات أخرى غير متعلقة بالبيئة، وخاصة عند النظر في الطريقة التي يُدار بها المجال الجوي. وبالإضافة إلى ذلك، قد تتطلب هذه تركيب معدات محددة أو مساعِدات ملاحية لتسهيل مسار الطيران للنزول والاقتراب، وقد تخضع أيضاً لسياسات تنظيمية محددة قد تبطئ اعتمادها.

٤ الايكاو، *طريقة موصى بها لحساب كونتورات الضوضاء حول المطارات* (الوثيقة Doc 9911)، منظمة الطيران المدني الدولي، ٢٠١٨.

الجدول ٨-٢ — الآثار البيئية لتقنيات المغادرة المختلفة

	التأثير البيئي على:			
التقنية	الضوضاء	الوقود/ثاني أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي)	تعليقات
زِد قدرة الإقلاع	خُفِّضت الضوضاء تحت مسار الطيران، لكن يمكن أن تزداد منطقة نطاق الانتشار	خُفِّض قليلاً أو زيد (الملاحظة ١)	تزداد أكاسيد النيتروجين مع ضبط القدرة	تأثير سلبي على تكاليف صيانة المحرك (الملاحظة ٢).
خفّض ضبط قلابة الإقلاع	ضوضاء مخفَّضة إذا تحسنت نسبة الرفع إلى المقاومة – على نحو يتوقف على خصائص الطائرة والمدرج	قد يكون مخفَّضاً قليلاً	قد تزداد أو تنخفض (الملاحظة ٣)	متضمن محتمل لضربة الذيل لبعض الطرز في ظروف معينة (الملاحظة ٤).
خفِّض ارتفاع التعجيل	زادت الضوضاء بعد نقطة ارتفاع التعجيل، ولكنها قد تخفَّض بعد مسافة من ذلك	خُفِّض	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	تتوقف الاختلافات الفعلية على الاختلاف في ارتفاع التعجيل المختار مقابل ممارسة شركات الطيران القياسية (الملاحظة ٤).
أخِّر ارتفاع سحب القلابات في الصعود	خُفِّضت الضوضاء على مسافة أقرب من المطار، ولكنها زيدت بعد ذلك بمسافة	زيد	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	(الملاحظة ٤)
زِد ارتفاع التخفيض	زادت الضوضاء على بعض المسافات القريبة من المطار، ولكنها خُفِّضت بعد ذلك بمسافة	قليل من الزيادة أو التخفيض حسب الوقت المقرر لسحب القلابات	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	(الملاحظة ٤)
تسلسل قطاع صعود التعجيل (خفِّض القدرة واسحب القلابات ثم عجِّل)	ضوضاء مخفَّضة تحت مسار الطيران بعد نقطة التعجيل العادي	زيد	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	قد يعني منظمي السلامة تشغيل الطائرة في شكل للمقاومة العالية مع ضبط منخفض للقدرة (الملاحظة ٤).
زِد سرعات V (VR وV2 وسرعات الصعود)	زيدت الضوضاء قليلاً بالقرب من المطار، ولكنها خُفِّضت بعد ذلك بمسافة	اختلاف قليل – زيد قليلاً	قد تزيد أو تنخفض (الملاحظة ٣)	لا ينطبق على بعض طرز الطائرات وبعض المشغّلين حسب تقنيات الإقلاع القياسية. ويتوقف أيضاً على حدود الإقلاع (الملاحظة ٤).
زِد درجات ضبط قدرة الصعود	زيدت الضوضاء بعد التخفيض على مسافة أقرب من المطار، ولكنها خُفِّضت بعد ذلك بمسافة	اختلاف قليل – خُفِّض قليلاً	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	تأثير سلبي على تكاليف صيانة المحركات (الملاحظة ٤).
نظم جديدة لإدارة القدرة (مثل "الضوضاء الخاصعة للسيطرة" لنظام إدارة الرحلة)	خُفِّضت في نقاط معينة محددة بوصفها حساسة للضوضاء	يتوقف على الإجراء وموقع استقبال ضوضاء الطائرات وخصائص المطار	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٥)	يمكن القيام به حالياً فقط بنظام إدارة الرحلة من الجيل الجديد في طرز الطائرات الجديدة، مثل A380, B787, A350..
طرق جوية مفضلة للضوضاء	تأثير مخفَّض على مجموعات السكان بالقرب من المطار	يُزاد عادة بسبب أميال المسار الإضافية المقطوعة والمستوى المنخفض لمتطلبات الاستدارة	زيادة صغيرة تتوقف على تصميم الطرق الجوية المفضَّلة للضوضاء (الملاحظة ٥)	الطرق الجوية المفضَّلة للضوضاء مصمَّمة لتجنّب المناطق عالية الكثافة السكانية، لذلك من المنتظر أن تكون مجموعات السكان المتأثرة بالضوضاء أصغر، غير أن الضوضاء الإجمالية المنبعثة قد تكون أكبر.
استخدام مدرج مفضَّل للضوضاء	تأثير مخفَّض على مجموعات السكان بالقرب من المطار	زيادة أو انخفاض حسب تصميم المطار المنفرد والظروف المحلية	زيادة أو انخفاض حسب تصميم المطار المنفرد والظروف المحلية	استخدام مدرج مفضَّل للضوضاء مصمَّم لتجنب المناطق عالية الكثافة السكانية، لذلك من المنتظر أن تكون مجموعات السكان المتأثرة بالضوضاء أصغر. غير أن الضوضاء الإجمالية المنبعثة قد تكون أكبر.

ملاحظات —

١- على الرغم من أن انسياب الوقود أكبر على درجة ضبط أعلى للقدرة، سيكون الوقت على درجة الضبط تلك مخفَّضاً مما تنتج عنه اختلافات ضئيلة يمكن أن تكون إما إيجابية وإما سلبية ولن تكون هي أنفسها بالنسبة لجميع الانبعاثات.

٢- يمنع التقييد القانوني الحالي تطبيق خفض ضوضاء المغادرة على ارتفاع أقل من ٨٠٠ قدم فوق مستوى المطار (الايكاو ٢٠٠٦).

٣- سيتأثر الوزن عند الإقلاع المحدود بالأداء (أنظر من ٨-٤-٣ إلى ٨-٤-٧) وسيؤثر بدوره على درجة ضبط الدفع للإقلاع وانبعاثات أكاسيد النيتروجين الصادرة.

٤- سيكون لذلك تأثير على مسار الطيران وسرعاته، لذلك سيتعين أن تكون مراقبة الحركة الجوية مدركة لمتضمنات هذه الاجراءات لكفالة إدارة السلامة والانسياب بكفاءة. وقد يكون لذلك أيضاً تأثير على الالتزام بالطرق الجوية المفضَّلة للضوضاء ذات المستوى المنخفض من متطلبات الاستدارة.

٥- اختلافات الانبعاثات الأعلى من ١ ٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض سيكون لها تأثير ضئيل على التغيرات في التركيزات على مستوى سطح الأرض.

٨-٥-٢ ترد في الجدول ٨-٣ بعض الأمثلة لآثار تقنيات/إجراءات الوصول المختلفة وتأثيرها البيئي على الضوضاء والوقود/ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي).

الجدول ٨-٣ — الآثار البيئية لتقنيات الاقتراب المختلفة

	التأثير البيئي على:			
التقنية	الضوضاء	الوقود/ثاني أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين (نوعية الهواء المحلي)	تعليقات
عمليات النزول المستمر[٥]	تخفيضات قبل اتباع منحنى النزول لنظام الهبوط الآلي	خُفِّض	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ١)	يتعين الاتفاق على الإجراءات ووضعها أولاً. وستُجنى أكبر فائدة عند بدئها على ارتفاعات أعلى بمعدات ملاحية أكثر تقدماً. وقد تؤثر على السعة (الملاحظة ٢).
عمليات الوصول الموائمة	تخفيضات قبل اتباع منحنى النزول لنظام الهبوط الآلي	خُفِّض	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ١)	مشابهة لعمليات النزول المستمر، ولكنها مواءمة لرحلة جوية محددة من خلال إدراج كل ما هو معروف عن أداء الطائرة والحركة الجوية والمجال الجوي والأرصاد الجوية والخلوص من العوائق والقيود البيئية التي من المتوقع مواجهتها خلال الوصول.
قدرة منخفضة/مقاومة منخفضة	تخفيضات أقرب إلى عتبة المدرج	خُفِّض (الملاحظة ٣)	تخفيض طفيف (الملاحظة ٣)	قد تشكل معايير الايكاو للاقتراب الموازن قيداً على بعض الطرز في بعض المطارات. وقد تؤثر على معدلات الانسياب مع متطلبات سرعة الطائرات المختلفة (الملاحظة ٢، الملاحظة ٤).
الاقتراب المنحني	تأثير مخفَّض على مجموعات السكان بالقرب من المطار، غير أن الضوضاء الإجمالية المنبعثة قد تكون أكبر	يمكن زيادته حسب الاختلاف في أميال المسار	اختلاف قليل أو لا يوجد اختلاف (الملاحظة ١)	يتعين الاتفاق على الإجراءات ووضعها أولاً. وقد تكون المعدات الملاحية الأكثر تقدماً مطلوبة للمساعدة على مراقبة مسار الطيران (الملاحظة ٤).
نقطة الملامسة المزاحة	مخفَّضة – تخفيضات أكبر أقرب إلى حدود المطار	لا يوجد اختلاف (الملاحظة ٣)	تخفيضات للمناطق المتأثرة خارج المطار (الملاحظة ٣)	قد تكون التطبيقات أيضاً محدودة عن طريق خصائص تحمّل الصدمات للمدرج المحلي (الملاحظة ٢، الملاحظة ٤).

الملاحظات —

١- اختلافات الانبعاثات الأعلى من ١٠٠٠ قدم فوق مستوى سطح الأرض سيكون لها تأثير ضئيل على التغيرات في التركيزات على مستوى سطح الأرض.

٢- قد تكون اعتبارات السلامة دون التخفيضات لدرجات ضبط القلابات إذا كان المدرج قصيراً أو مبتلاً أو ملوّثاً.

٣- الاستعمال الزائد للدفع العكسي نتيجة لهذه التقنية قد ينطوي على المساس بأي تحسينات ناجمة عن هذه التقنية.

٤- قد يتطلب ذلك طائرة معدلة بصورة خاصة وتغييرات في المعدات الأرضية أو معدات أرضية إضافية.

اعتبارات الدفع العكسي

٨-٥-٣ الدفع العكسي غير مطلوب عموماً للعمليات العادية على مدرج جاف، مع أن توافره احتياط حكيم للسلامة. ونتيجة لذلك، يتم عند الهبوط اختيار الدوران البطيء العكسي في جميع الحالات تقريباً عندما لا يملي الأداء أو اعتبارات أخرى (مثل حالة سطح المدرج) أن تكون مطلوبة درجات ضبط أعلى للقدرة العكسية. ويمكن أن ينتج عن عدد من تقنيات الوصول اقتضاء تشغيلي زائد للدفع العكسي، بما في ذلك زيادة سعة المدرج عن طريق تخفيض وقت احتلال المدرج.

٨-٥-٤ يمكن عادة استخدام المزيد من كبح العجلات بدلاً عن الدفع العكسي وسينتج عن ذلك تخفيض الضوضاء والانبعاثات من المحركات (على الرغم من أن انبعاثات الجسيمات الدقيقة قد تزداد) وتخفيض تكاليف حرق الوقود. غير أنه يتعين أن تؤخذ بعين الاعتبار تكاليف زيادة استهلاك المكابح والإطارات المرتبطة بهذه التقنية.[٦] وفضلاً عن ذلك، على الرغم من أن هذا ليس محور تركيز هذه الوثيقة، يمكن

٥ Eurocontrol, Continuous Descent Approach — Implementation Guidance Information, Eurocontrol, May 2008.

٦ الايكاو، *فرص تشغيلية للتقليل من استهلاك الوقود وتخفيض الانبعاثات* (Doc 10013)، منظمة الطيران المدني الدولي، ٢٠١٤.

أن يحدث استهلاك المكابح والإطارات تركيزات محلية كبيرة من الموارد الجسيمية عند مقارنتها بمحركات الطائرات، وهذه ينبغي أخذها في الحسبان عند تحليل آثار عمليات الطائرات على نوعية الهواء المحلي عند اقتراح زيادة استخدام كبح العجلات.

ملاحظة عن الانتظار

٨-٥-٥ قد يكون الانتظار مطلوباً في مطار لعدد من الأسباب، مثلاً، لضمان استخدام المدرج بكفاءة حيث يوفّر هذا عامل الحد من السعة. وفي هذه الحالة، يكون الانتظار في الجو مطلوباً لتوفير "احتياطي" من الطائرات لتغذية تيار عمليات الوصول، ويضمن الانتظار على الأرض أن يتم دائماً تحقيق الحد الأقصى من معدلات انسياب المغادرة.

٨-٥-٦ بالنسبة للمدارج الوحيدة، أو العمليات ذات الطريقة المختلطة، يمكن أن يوجد تعارض بين الطائرات التي تنتظر الإقلاع وتلك التي في الجو تنتظر الهبوط، وخاصة في أوقات الانشغال من اليوم أو عندما يعمل المطار أو يقترب من العمل بسعته. وفي هذه الحالة، على الرغم من أنه من المفيد دائماً تخفيض أوقات الانتظار بقدر الإمكان، عندما يكون الانتظار لا مفر منه، توجد عندئذ معاوضات واضحة للقيام بها، أي:

أ) الانتظار على مستوى سطح الأرض يقلّل إلى الحد الأدنى ضوضاء الانتظار وانبعاثاته من الوقود/ثاني أكسيد الكربون ولهذا السبب فإنه دائماً من الأفضل بكثير أن تنتظر الطائرات المغادرة على الأرض وتخليص الطائرات المنتظرة للوصول. غير أن الآثار على نوعية الهواء المحلي ستبلغ الحد الأقصى نتيجة لذلك.

ب) الانتظار في الجو ليس وثيق الصلة حقاً بنوعية الهواء على مستوى سطح الأرض لأنه يجري على مستويات أعلى بكثير من ٠٠٠ ١ قدم، حيث ستكون الآثار على نوعية الهواء المحلي في الحد الأدنى، إذا وُجدت على الإطلاق، ولكن الآثار على ضوضاء الانتظار وانبعاثاته من الوقود/ثاني أكسيد الكربون ستزداد بقدر كبير.

٨-٦ أمثلة محددة — كتاب الايكاو الدوري رقم Cir 317

٨-٦-١ يحتوي هذا القسم على بعض الأمثلة من تحليلات أجراها أعضاء الفريق العامل الثاني للجنة الايكاو المعنية بحماية البيئة في مجال الطيران، وذلك باستخدام عدد من طرز الطائرات المختلفة بالنسبة لمطار غير مقيّد وغير محدد. وتم تقدير التغييرات لما يلي:

أ) انبعاثات أكاسيد النيتروجين إلى كل من ارتفاع ٠٠٠ ١ قدم وارتفاع ٠٠٠ ٣ قدم.

ب) ثاني أكسيد الكربون الإجمالي (ومن ثم حرق الوقود) إلى نقطة مشتركة بعد قمة الصعود (لاحظ أن حرق الوقود إلى ارتفاع ٠٠٠ ٣ قدم يتفاوت مع تفاوت الطراز ومسافة القطاع، لكنه يتفاوت بين ٢,٥ في المائة (للرحلات الجوية الطويلة للغاية) إلى نحو ٢٥ في المائة (للرحلات الجوية القصيرة للغاية) من الوقود الإجمالي للقطاع).

ج) فرق الضوضاء "القريبة" القصوى وفرق الضوضاء "البعيدة" القصوى إلى جانب نقطة العبور (المسافة من اطلاق المكابح) حيث يغيّر فرق الضوضاء العلامة.

د) عدد الإجراءات لثمانية طرز مختلفة من الطائرات.

٨-٦-٢ هذه المعلومات يُقصد بها فقط تقديم إرشاد عن أنواع العلاقات المتبادلة التي قد تصادَف في العمليات الفعلية ولا ينبغي اعتبار أنها تمثّل جميع الطائرات، حتى من نفس الطراز، في جميع المطارات.

٨-٦-٣ التفاصيل الكاملة لنتائج هذه الدراسة منشورة في كتاب الايكاو الدوري رقم Cir 317، ومع ذلك تقدَّم هنا خلاصات للعلاقات المتبادلة البيئية للتقنيات الثلاث لبيان نوع المعاوضات التي قد تكون مطلوبة.

٨-٦-٤ ترد في الأشكال من ٨-١ إلى ٨-٦ آثار ثلاثة تغييرات تشغيلية مختلفة لثمانية طرز من الطائرات. ورقم "هوية الطائرة" المستخدم في الأشكال هو ذلك الوارد في الجدول ٨-٤.

تأثير علو التخفيض

٨–٦–٥ يمكن الاطلاع على تأثير علو التخفيض في نتائج تحليل مقارنة تخفيض من قدرة الإقلاع إلى الحد الأقصى المحدود للدفع عند الصعود على ارتفاع ٥٠٠ ١ قدم المتعلق بتخفيض بدئ على ارتفاع ٨٠٠ قدم.

٨–٦–٦ تبيّن النتائج أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين على مستوى منخفض تزداد عموماً، بينما تنخفض قليلاً انبعاثات حرق الوقود وثاني أكسيد الكربون. وتزداد أيضاً الضوضاء القريبة بينما تنخفض الضوضاء البعيدة إلى مقدار أقل بعد نقطة العبور القريبة نسبياً من المطار. انظر الشكلين ٨–١ و٨–٢.

تأثير تسلسل التخفيض

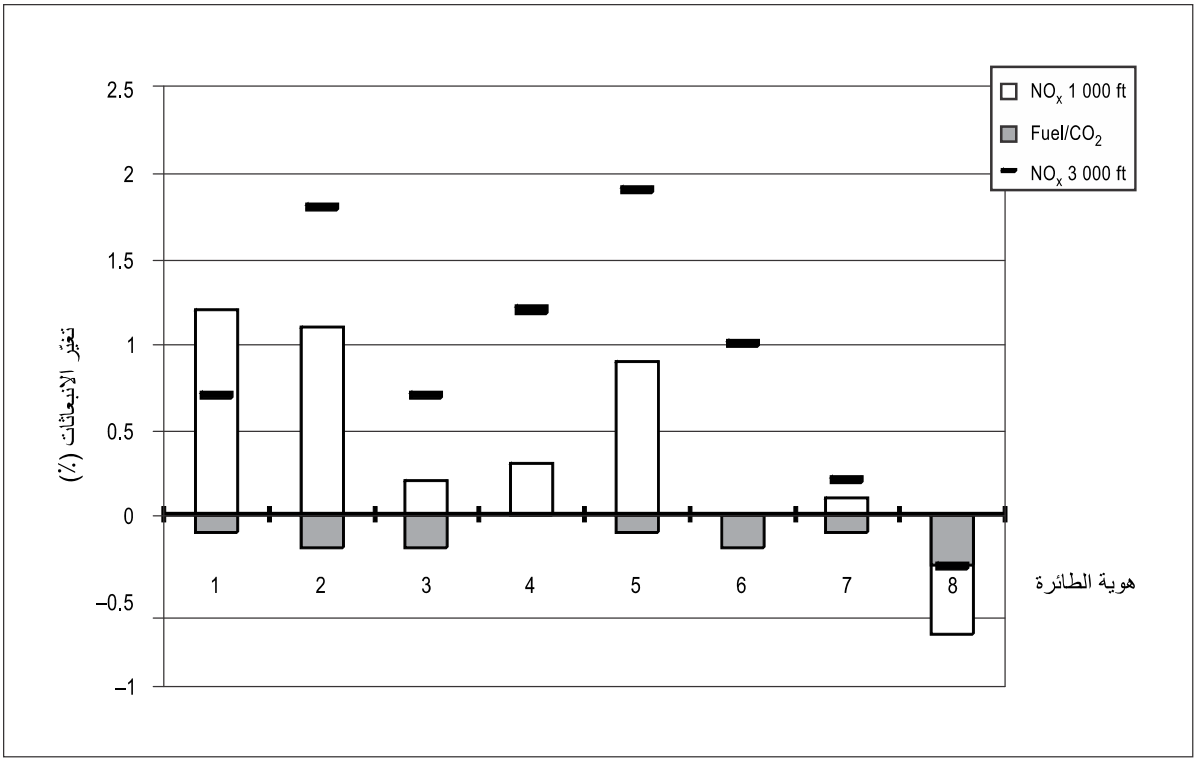
٨–٦–٧ تبيَّن في الشكلين ٨–٣ و٨–٤ آثار تسلسلات التخفيض المختلفة، حيث أن الإجراء الأساسي هو بدء التعجيل وسحب القلابات على ارتفاع ٨٠٠ قدم، ويلي ذلك التخفيض إلى الحد الأقصى للدفع عند الصعود عند استكمال سحب القلابات. ويترتب على الإجراء البديل التخفيض إلى الحد الأقصى للدفع عند الصعود على ارتفاع ٨٠٠ قدم قبل بدء التعجيل وسحب القلابات.

٨–٦–٨ تبيّن النتائج أنه، عموماً، تخفَّض انبعاثات أكاسيد النيتروجين، مع زيادة طفيفة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (أقل من ١ في المائة). وتخفَّض الضوضاء القريبة بينما تُزاد الضوضاء البعيدة بعد نقطة العبور وذلك، أيضاً، بالقرب من المطار نسبياً.

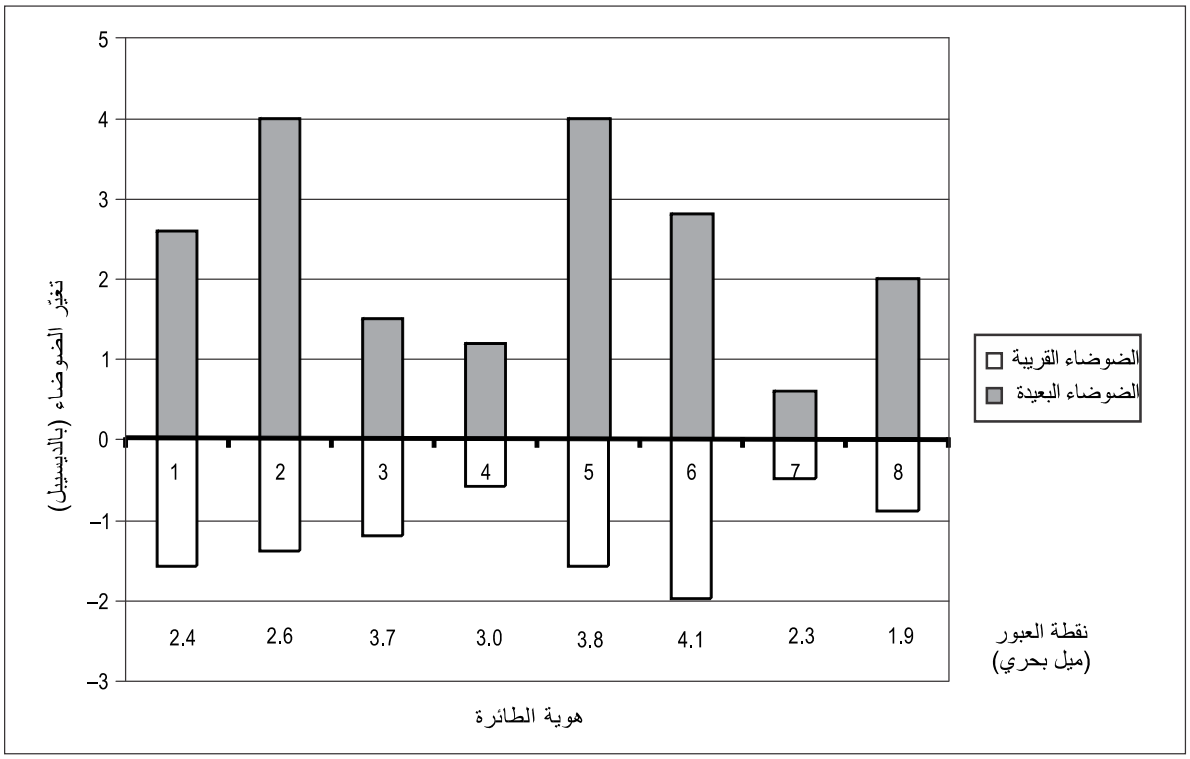
علو سحب القلابات

٨–٦–٩ يبيَّن في الشكلين ٨–٥ و٨–٦ تأثير علو سحب القلابات، حيث أن أساس الإجراء هو التخفيض إلى الحد الأقصى للدفع عند الصعود على ارتفاع ٨٠٠ قدم ولكن تأخير بدء التعجيل وسحب القلابات حتى ارتفاع ٠٠٠ ٣ قدم. والإجراء البديل هو التخفيض إلى الحد الأقصى للدفع عند الصعود وبدء التعجيل وسحب القلابات على ارتفاع ٨٠٠ قدم.

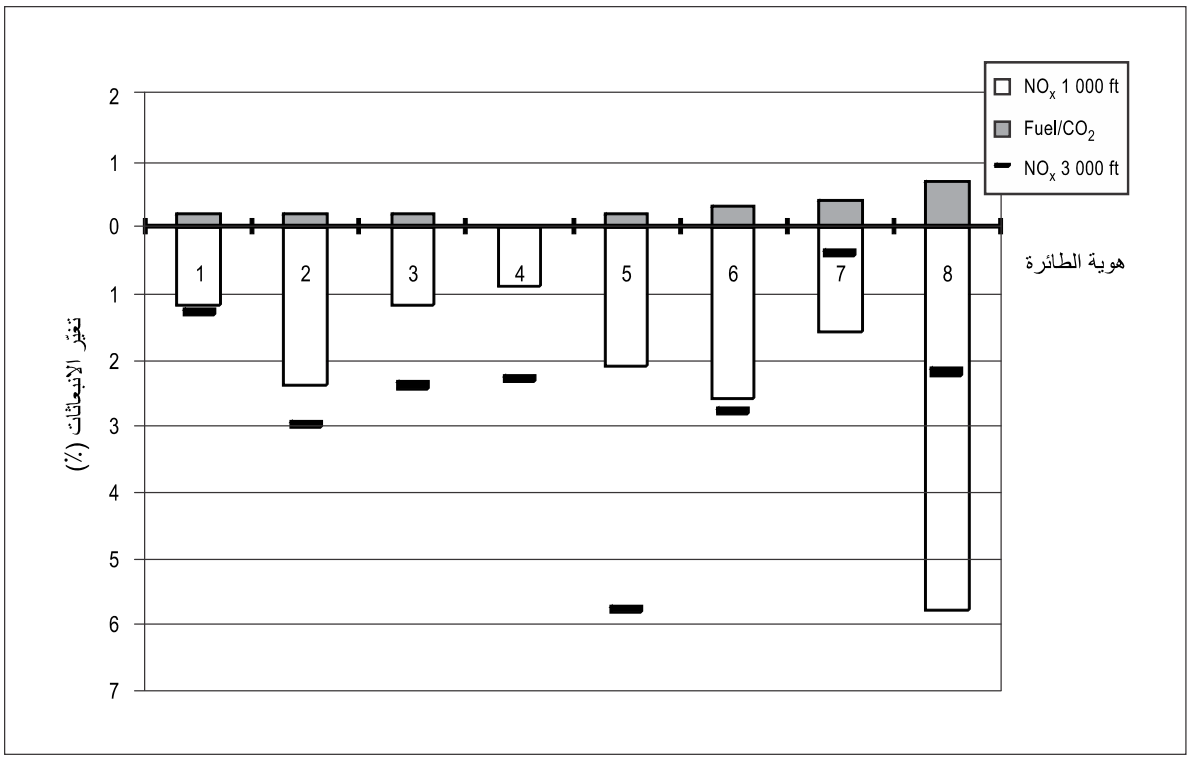
٨–٦–١٠ تبيّن النتائج أنه، عموماً، تزداد انبعاثات أكاسيد النيتروجين زيادة كبيرة، مع تخفيض ضئيل في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتزداد الضوضاء القريبة بينما تنخفض الضوضاء البعيدة بعد نقطة عبور أبعد نسبياً من المطار.



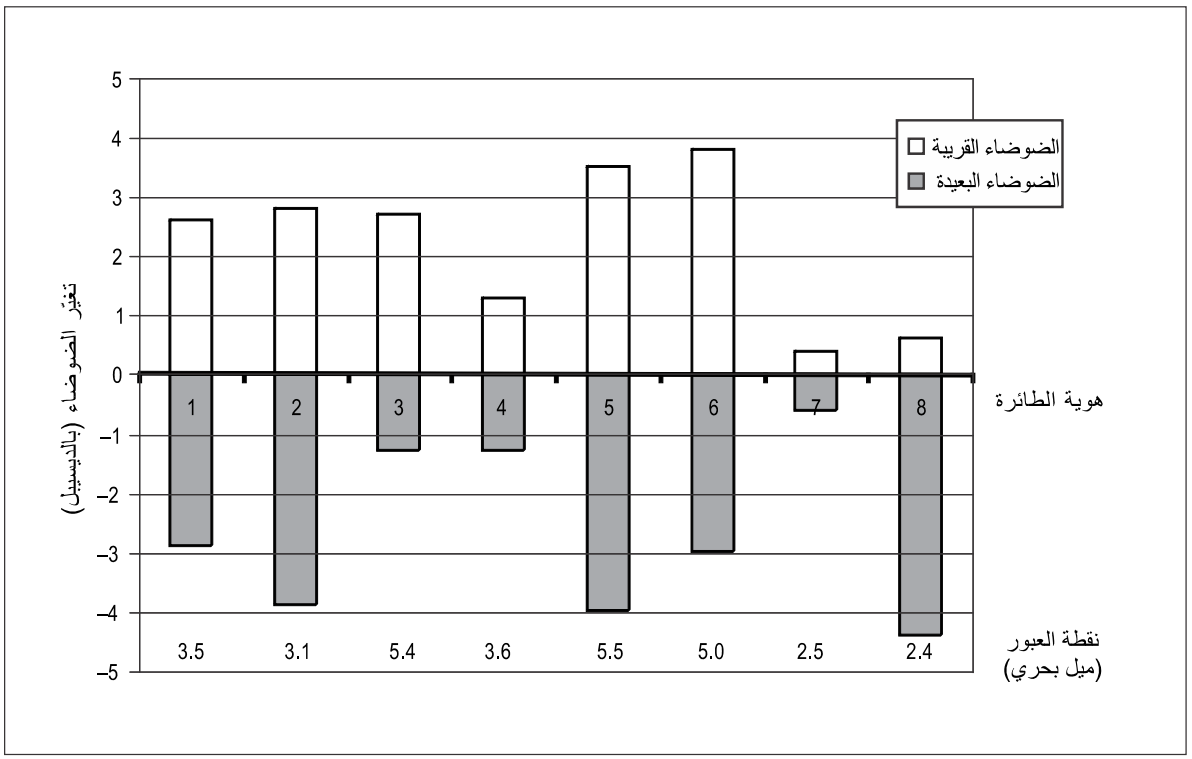
الشكل ٨–١ — آثار الانبعاثات لارتفاعات التخفيض المختلفة



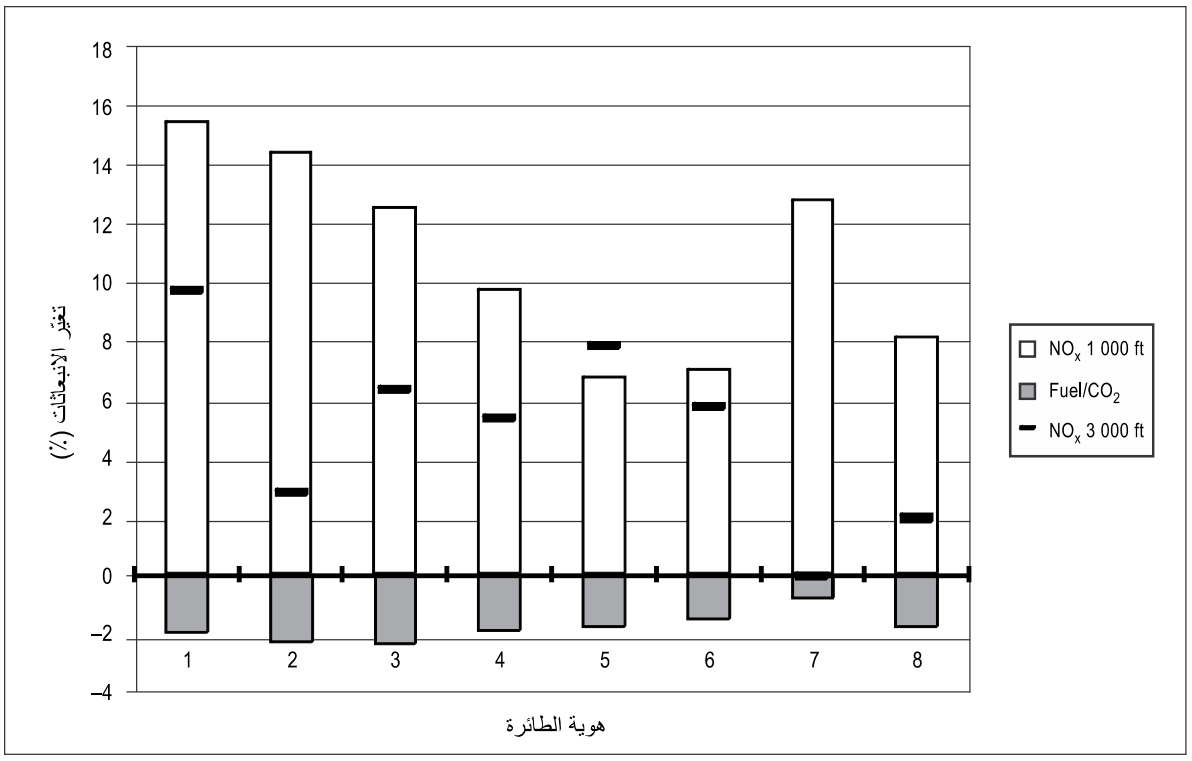
الشكل ٨–٢ — آثار الضوضاء لارتفاعات التخفيض المختلفة



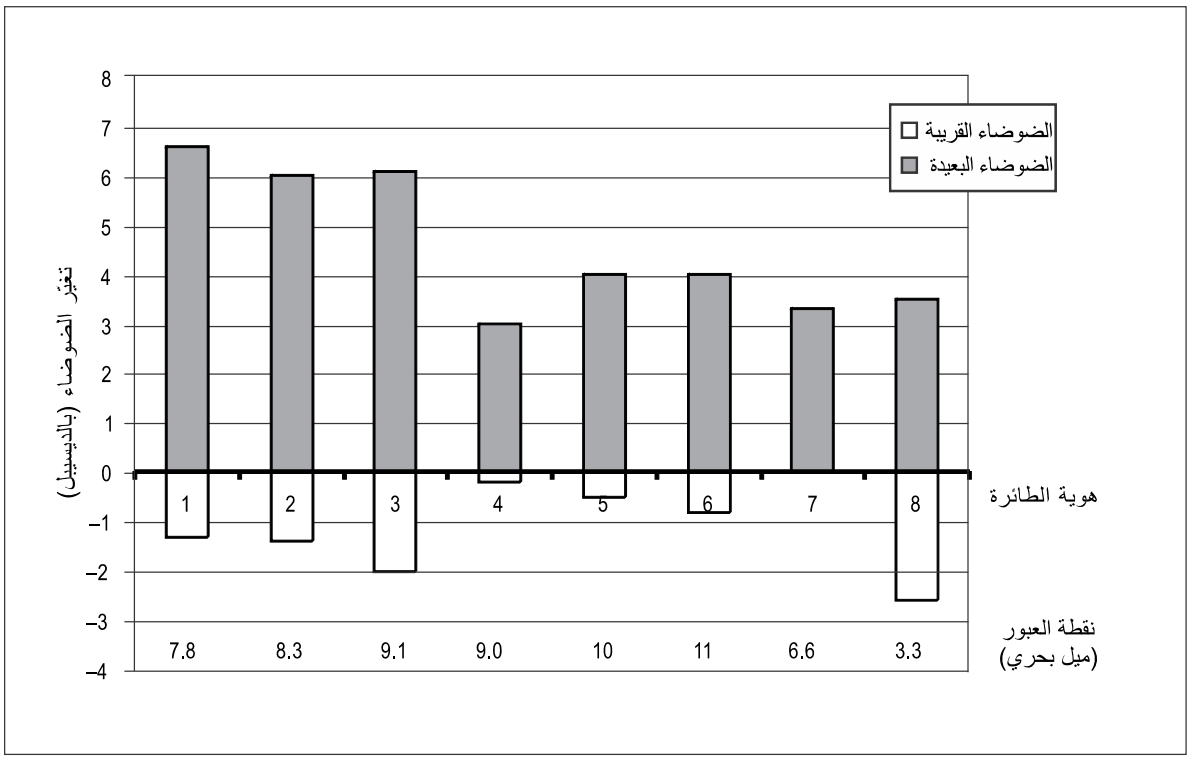
الشكل ٨-٣ — آثار الانبعاثات لتسلسلات التخفيض المختلفة



الشكل ٨-٤ — آثار الضوضاء لتسلسلات التخفيض المختلفة



الشكل ٨-٥ — آثار الانبعاثات لارتفاعات سحب القلابات المختلفة



الشكل ٨-٦ — آثار الضوضاء لارتفاعات سحب القلابات المختلفة

الجدول ٨-٤ — طرز الطائرات المستخدمة في دراسة كتاب الايكاو الدوري رقم Cir 317
(تشير الهوية إلى رقم هوية الطائرة المستخدم في الأشكال من ٨-١ إلى ٨-٦)

الهوية	طراز الطائرة
١-	Airbus A320-214, CFM56-5B4/P الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٧٧ كغم ١٢٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٢-	Boeing 737-700, CFM56-7B24 الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٧٠ كغم ١٠٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٣-	Airbus A330-223, PW4168A الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٢٣٣ كغم ١٢٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٤-	Airbus A340-642, Trent 556 الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٣٦٨ كغم ١٢٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٥-	Boeing 767-400, CF6-80C2B8F الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٢٠٤ كغم ١٠٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٦-	Boeing 777-300, Trent 892 الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٣٠٠ كغم ١٠٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٧-	Bombardier CRJ900ER, CF4-8C5 الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ٣٧ كغم ١٠٪ من دفع الإقلاع المخفَّض
٨-	Dassault Falcon 2000EX, PW308C الوزن عند الإقلاع ٠٠٠ ١٩ كغم دفع الإقلاع الكامل

المراجع

BACK Aviation Solutions (BACK), *Aviation Link: User's Guide*, Edition 16, June 2005.

Baughcum, S.L. et al., *Scheduled Civil Aircraft Emissions Inventories for 1976 and 1984: Database Development and Analysis,* NASA CR 4700, April 1996.

Department for Transport (United Kingdom), *Project for the Sustainable Development of Heathrow: Air Quality Technical Report,* 19 July 2006.

Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery, *Official Journal* L146, 2004, Brussels.

ECAC, AIRMOD Technical Sub Group, *Methodology for Computing Noise Contours Around Civil Airports,* January 2006.

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical report No 12/2013; August 2013, http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013 (accessed June 2020).

Energy and Environmental Analysis, Inc., *Air Pollution Mitigation Measures for Airports and Associated Activity,* Arlington, VA, Emission Factors for GSE Engines (in grams per BHP-hr), May 1994.

EUROCONTROL, http://www.eurocontrol.int (accessed June 2020).

EUROCONTROL Experimental Centre (EEC), *User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA),* Revision 3.6, EEC Note No. 10/04, Project ACE-C-E2, 2004.

European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research, *New developments in emission estimation from transport,* Report from the Joint Dissemination Conference COST346 – ARTEMIS — PARTICULATES, 2004.

European Environment Agency, *TERM Report 2003 for EU Countries and Accessing Countries*, 2003.

Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, *Official Airline Guide,* www.faa.gov (accessed June 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans, *Terminal Area Forecast (TAF),* https://aspm.faa.gov/main/taf.asp (accessed June 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, *Aviation Emissions and Air Quality Handbook,* Version 3, Update 1, FAA-AEE-2014-12, 2015, http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/airquality_handbook/media/Air_Quality_Handbook_Appendices.pdf (accessed June 2020).

Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, *Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) User's Manual,* FAA-AEE-07-01 (Rev. 10 – 06/07/13), June 2013, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/media/EDMS_5.1.4_User_Manual.pdf (accessed June 2020).

Federal Aviation Administration, Olmstead, Jeffery R., *Integrated Noise Model (INM) Technical Manual, Version 6.0.* January 2002 FAA-AEE-08-01, https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/ (accessed June 2020).

Federal Register, Vol. 38, No 136, Part II, "Control of Air Pollution from Aircraft and Aircraft Engines; Emission Standards and Test Procedures for Aircraft — Final Rule*,"* July 17, 1973, pp 19088–19103.

Flughafen Zürich AG, *Aircraft Ground Handling Emissions: Methodology and Emission Factors Zurich Airport,* April 2014, https://www.zurich-airport.com/~/media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/laerm_politik_und_umwelt/luft/2014_gse_emissionmeth_zrh.pdf (accessed June 2020).

Forecasting and Economic Analysis Support Group, *Steering Group Meeting Report of the FESG/CAEP6 Traffic and Fleet Forecast,* FESG CAEP-SG20031-IP/8, October 2003.

Grandi, F., *The MAGENTA Modelling System-Software and Data Structures-Data Management Software Utilities,* Wyle Laboratories, Washington, D.C., 2005.

INFRAS: *Handbook Emission Factors for Road Transport, Version 2.1,* Bern, 2004, www.hbefa.net (accessed June 2020).

Janicke Consulting, "LASPORT: A program system for the calculation of airport-induced pollutant emissions and concentrations in the atmosphere", http://www.janicke.de/en/lasport.html (accessed June 2020).

JP Airline Fleets, *JP Fleets International, Aviation Database,* BUCHair U.K. Ltd., December 2004.

Lecht, D.L., *The DLR Fuel Flow Method and its Characteristics Compared to Other NO_x Correlation Methods*, 2005.

Logiciel IMPACT — Guide Utilisateur, ADEME Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, 1997.

MEET Project, *Project Report SE/491/98, Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption,* Transport Research Laboratory, 1999.

MEET Project, *Road Traffic Composition,* Aristotle University of Technology, 1998.

Society of Automotive Engineers, Aerospace Information Report 1845, *Procedure for the Calculation of Aeroplane Noise in the Vicinity of Airports,* Warrandale, PA, March 1986.

UN Economic Commission for Europe, *Annual Bulletin of Transport Statistics for Europe and North America,* 2004.

United States Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *Airline On-Time Performance Data,* 2005.

United States Environmental Protection Agency, Modeling and Inventories, NONROAD, http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm (accessed June 2020).

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *Fugitive Dust Background Document and Technical Information Document for Best Available Control Measures*, 1992.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modelling*; 2004.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *Nonroad Engine and Vehicle Emission Study — Report*, 1991.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, *User's Guide for the Nonroad Emissions Model Draft NONROAD 2002*, 2002.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources (AP-42)*, Fifth Edition and Supplements, 1995 (with supplements through 2004).

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *Procedures for Emission Inventory Preparation,* Volume IV: *Mobile Sources*, 1992.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, *User's Guide to Tanks, Storage Tank Emissions Calculation Software*, Version 4.0, 1999.

United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Final Report — *Evaluation of Emissions from Paving Asphalts*, 1994.

United States Environmental Protection Agency, *Spatial Allocation.*

United States Environmental Protection Agency, *Technical Support for Development of Airport Ground Support Equipment Emission Reductions,* EPA420-R-99-007, May 1999.

United States Environmental Protection Agency, Technology Transfer Network, *Factor Information Retrieval Data System,* http://cfpub.epa.gov/oarweb/index.cfm?action=fire.main (accessed June 2020).

United States Environmental Protection Agency, *Temporal Allocation.*

United States Environmental Protection Agency, Wilcox, R. S., United States EPA, Letter to J. Draper, FAA, November 22, 2000.

Xie, S. et al., "On-Road Remote Sensing of Vehicle Exhaust Emissions in Auckland New Zealand," *Clean Air and Environmental Quality*, Volume 39, No. 4, November 2005.

– انتهى –

ISBN 978-92-9265-328-6