دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء
لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية
وإرشادات تمهيدية حول نمذجة تشتت انبعاثات الهواء

كانون الأول
2021

UN environment programme 50 1972-2022

© 2021، مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الأمين العام.

يجوز إعادة إنتاج هذا الدليل كليًا أو جزئيًا وبأي شكل لأغراض تعليمية أو غير هادفة للربح دون إذن خاص من صاحب حقوق الطبع والنشر، بشرط الإقرار بالمصدر. يقدّر مجلس التعاون لدول الخليج العربية تلقي نسخة من أي مطبوعة تستخدم هذا الدليل كمصدر.

لا يجوز استخدام هذا الدليل لإعادة البيع أو لأي غرض تجاري آخر على الإطلاق دون إذن كتابي مسبق من مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

الأمين العام
مجلس التعاون لدول الخليج العربية
دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية – مكتب الأمين العام
الرياض
المملكة العربية السعودية
www.gcc-sg.org

إخلاء مسؤولية

التسميات المستخدمة وطريقة عرض المواد في هذا الدليل لا تعني التعبير عن أي رأي مهما كان من جانب مجلس التعاون لدول الخليج العربية أو برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو السلطات، أو فيما يتعلق بترسيم حدودها.

لا يشير ذكر شركة تجارية أو منتج في هذا الدليل إلى دعم مجلس التعاون لدول الخليج العربية أو برنامج الأمم المتحدة للبيئة أو المؤلفين.

لا يُسمح باستخدام المعلومات الواردة في هذا الدليل للدعاية أو الإعلان.. تُستخدم أسماء العلامات التجارية ورموزها بطريقة تحريرية مع عدم انتهاك قوانين العلامات التجارية أو حقوق النشر.

نعتذر عن أية أخطاء أو سهو قد يكون حدث عن غير قصد.

تمهيد

يؤثر تلوث الهواء على صحة وسلامة الناس والبيئة ويعتبر أكبر خطر على الصحة البيئية في العالم. كما هو الحال في أجزاء أخرى من العالم، تواجه دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية أيضًا تحدي تلوث الهواء، كما أن موقعها الجغرافي يجعلها بشكل خاص عرضة لمصادر تلوث الهواء الطبيعي مثل الرمال والغبار وملح البحر.

وإدراكًا للتحدي، شرع مجلس التعاون لدول الخليج العربية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) في مشروع طموح في إطار «مبادرة الخليج الأخضر: تحقيق الأبعاد البيئية لأهداف التنمية المستدامة». وكان أحد أهداف المبادرة تطوير إرشادات إقليمية لجمع بيانات نوعية الهواء. وبالتالي، تم إصدار مجموعة من ثلاثة كتيبات إرشادية هي: **(1)** دليل انبعاثات ملوثات الهواء لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، وإرشادات تمهيدية حول نمذجة تشتت انبعاثات الهواء. **(2)** دليل نمذجة نوعية الهواء والتنبؤ به لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. **(3)** دليل مراقبة جودة الهواء وإدارة البيانات لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

يقدم الدليل الحالي طريقة موحدة لتجميع مصادر الانبعاثات على المستوى الوطني تكون مناسبة للمقارنة الإقليمية، كما يوفر أداة حديثة على شبكة الإنترنت يمكن لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية استخدامها لتسهيل العمليات الحسابية والحسابات. بالإضافة إلى ذلك، فإن الإرشادات التمهيدية لنمذجة تشتت تلوث الهواء توفر للبلدان نظرة عامة للطرق المختلفة المتاحة لنمذجة أنماط التشتت بما في ذلك متطلبات البيانات والتطبيق والمنافع والقيود.

يهدف هذا الدليل إلى تسهيل تجميع مصادر الانبعاثات البشرية والحيوية المنشأ لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية والمنطقة. تعتبر مصادر الانبعاثات أساسًا لتصميم استراتيجيات التحكم للحد من تلوث الهواء محليًا وللمساعدة في تقييم مساهمات ملوثات الهواء المنقولة عبر مسافات طويلة. ويستند إلى عوامل الانبعاث المحدثة المنشورة في عام 2019 بموجب دليل مصادر انبعاثات ملوثات الهواء للبرنامج الأوروبي المشترك للرصد والتقييم / وكالة البيئة الأوروبية (EMEP/EEA).

يصف الدليل المصادر الرئيسية لبيانات المدخلات الأكثر صلة بحساب مصادر الانبعاثات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، ويشير إلى العوامل المختلفة المستخدمة لإنشاء انبعاثات في الوقت الحقيقي والمعالجة كيميائيًا.

الدليل مقسم إلى ثلاثة فصول. **الفصل 1** عبارة عن مقدمة تلخص الحاجة إلى تحديد مصادر الانبعاثات، والمبادئ الأساسية في تجميع مصادر الانبعاثات، والملوثات التي تمت تغطيتها، وقطاعات المصادر المستبعدة من هذا الدليل. ويحتوي **الفصل 2** على أوصاف موجزة لمصادر الانبعاث الرئيسية في قطاعات الطاقة والصناعة والزراعة والنفايات. ويقدم **الفصل 3** مقدمة لنمذجة تشتت تلوث الهواء ويلخص نماذج التنبؤ المختلفة وطرق التقييم ومتطلبات ادخال البيانات.

وتجدر الإشارة إلى أن الإرشادات الواردة في هذا الدليل ليست ملزمة قانونًا لكنها تهدف إلى مساعدة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية في تصميم وتجميع قوائم انبعاثات ملوثات الهواء. إن استخدام هذا الدليل سيُمكّن دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية من تطوير قوائم مصادر الانبعاثات بشكل منسق ومنتظم، مما يسهل عملية اتخاذ القرار بشأن التحكم في تلوث الهواء والوقاية منه في منطقة مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

ولتحقيق الهدف من هذا الدليل، يوصى بإنشاء شبكة وطنية منسقة من قبل الوكالة المسؤولة عن إدارة تلوث الهواء بمشاركة المكاتب الإحصائية الوطنية والوزارات ذات الصلة لزيادة تعزيز القدرة على تجميع قوائم مصادر الانبعاثات باستخدام هذا الدليل.

إقرار

تم دعم إعداد هذا الدليل من خلال مشروع المعنون «مبادرة الخليج الأخضر: تحقيق البُعد البيئي لأهداف التنمية المستدامة». تم تنفيذ مبادرة الخليج الأخضر من قبل مكتب غرب آسيا التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) بالشراكة مع الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية(GCC) ونقاط الاتصال الوطنية في كل من دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

الفرق الأساسية:

المؤلفون

نجاة عون صليبا الجامعة الأمريكية في بيروت. عصام اللقيس الجامعة الأمريكية في بيروت. أنور الشامي، الجامعة الأمريكية في بيروت. إنكاراسان ميلفاكانام، مكتب غرب آسيا التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة

المراجعون والمساهمون

إبراهيم بو حسين، البحرين؛ نادر أحمد، البحرين؛ أمل المنصوري البحرين؛ سارة صلاح الشملان، البحرين؛ حسن المرزوق، البحرين؛ مريم محمد الأنصاري، البحرين؛ نوف بهبهاني، الكويت؛ عهود حمد الحميدي، الكويت؛ سعود العريمي، عمان؛ مصطفى بن أحمد الهاشمي، عمان؛ فريدة الموسى، قطر؛ سعد عبد الله الحاتمي، قطر؛ عبد الله الخليفي، قطر؛ عبد الله العوضي، قطر؛ زياد الغنام، قطر؛ أحمد أقسقل، قطر؛ علي بن عمير بن مشاري، السعودية؛ أنجي لورينا سانشيز بينا، الإمارات العربية المتحدة؛ فاطمة الحمادي، الإمارات العربية المتحدة؛ ميرا علي محمد الطاهري، الإمارات العربية المتحدة.

شكر خاص:

المراجعون

ميلاني هوبسون، إيثر؛ محمد توفيق، جامعة قناة السويس؛ هاري فالاك، معهد ستوكهولم للبيئة؛ كيفين هيكس، معهد ستوكهولم للبيئة؛ تيري ناكاجيما، المعهد الوطني للدراسات البيئية؛ بيرت فابيان، برنامج الأمم المتحدة للبيئة؛ فالنتين فولتيسكو، برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

شكر خاص للزملاء في برنامج الأمم المتحدة للبيئة، على وجه الخصوص:

سامي ديماسي، عبد المجيد حداد، إنكاراسان ميلفاكانام، سابين صقر، كارلا أيوب، أمية عطياني.

شكر خاص إلى الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية، على وجه الخصوص:

عادل الزياني، أحمد القرينيس، وليد الحمود، ماجد العقيل.

تحرير اللغة

ستيفن جراهام (شبكة Zoï للبيئة)

التصميم والإخراج

سابرينا أورسيني (شبكة Zoï للبيئة)

جدول المحتويات

قائمة الأشكال **9**

الاختصارات **10**

1 المقدمة **11**

1.1. الحاجة إلى قوائم مصادر الانبعاثات **11**

1.2. مبادئ الممارسة الجيدة في إعداد قوائم الجرد **12**

1.2.1. مبادئ الجرد الأساسية 12

1.2.2. طرق التقدير 13

1.2.3. جمع البيانات 13

1.2.4. هيكلة البيانات 14

1.3. الملوثات التي يغطيها الدليل **15**

1.3.1. **أكاسيد النيتروجين** 15

1.3.2. **أكاسيد الكبريت** 15

1.3.3. $PM_{2.5}$ 15

1.3.4. PM_{10} 16

1.3.5. CO 16

1.3.6. NH_3 16

1.3.7. NMVOCs 17

1.3.8. H_2S 17

1.3.9. BC 17

1.3.10. PAHs 17

1.3.11. Benzo(a)pyreme 18

1.3.12. PCDDs/PCDFs *18*

1.3.13. **المعادن الثقيلة** *18*

1.3.13.1. Pb 19

1.3.13.2. Hg *19*

1.3.13.3. Cd *19*

1.3.13.4. Zn *19*

1.3.13.5. Cu *20*

1.3.13.6. Cr *20*

1.3.13.7. As *20*

1.3.14. **غازات الاحتباس الحراري** 20

1.4. المصادر الطبيعية غير المدرجة في هذا الدليل **21**

1.4.1. العواصف الترابية 21

1.4.2. حرائق الغابات 22

2 مصادر الانبعاث 23

2.1. الطاقة 23
2.1.1. الاحتراق 23
2.1.1.1. صناعات الطاقة *23*
2.1.1.2. الصناعات التحويلية والانشاءات *24*
2.1.1.3. النقل البري *26*
2.1.1.4. الملاحة البحرية *28*
2.1.1.5. الطيران *30*
2.1.1.6. القطاعات الأخرى *31*
2.1.2. الانبعاثات المتسربة من الوقود 36
2.1.2.1. استكشاف وإنتاج ونقل أنواع الوقود *36*
2.1.2.2. تكرير النفط وتخزينه *39*
2.1.2.3. توزيع المنتجات النفطية *40*
2.1.2.4. التهوية والاشتعال *40*
2.1.2.5. الانبعاثات المتسربة من تعدين الفحم والتعامل معها *41*
2.1.2.6. الانبعاثات المتسربة من تحويل الوقود الصلب *41*

2.2. العمليات الصناعية واستخدام المنتج 43
2.2.1. المنتجات المعدنية 43
2.2.1.1. إنتاج الاسمنت *43*
2.2.1.2. إنتاج الجير *43*
2.2.1.3. الهدم والبناء *44*
2.2.2. الصناعات الكيميائية 45
2.2.3. إنتاج المعادن 45
2.2.4. استخدام المذيبات والمنتجات 46
2.2.4.1. إنتاج أسقف الاسفلت *46*
2.2.4.2. رصف الطرق بالإسفلت *46*
2.2.4.3. استخدامات أخرى *46*
2.2.5. أنواع أخرى من الانتاج الصناعي 47
2.2.5.1. صناعة اللب والورق *47*
2.2.5.2. صناعة المواد الغذائية *47*

2.3. الزراعة 48
2.3.1. إدارة السماد الطبيعي 48
2.3.2. إنتاج المحاصيل والنفايات الزراعية 48

2.4. النفايات 49
2.4.1. حرق النفايات 49
2.4.1.1. ترميد النفايات البلدية *49*
2.4.1.2. ترميد النفايات الصناعية *49*
2.4.1.3. حرق النفايات الطبية *50*
2.4.1.4. حرق النفايات الزراعية *50*
2.4.2. التخلص من النفايات في مواقع الطمر 51
2.4.3. معالجة المياه العادمة 52

3 من جرد الانبعاثات إلى تقييم جودة الهواء والتنبؤ 54

3.1. قياسات جودة الهواء 55

3.2. البيانات المطلوبة لتقييم جودة الهواء والتنبؤ 56

3.3. أدوات النمذجة لتقييم جودة الهواء والتنبؤ 57

3.4. طرق التنبؤ 59
3.4.1. التنبؤ الاحتمالي 59
3.4.2. الأساليب الاحصائية 59
3.4.3. نماذج التشتت العددي القائمة على أسس مادية 60

3.5. طرق التقييم 61
3.5.1. نماذج انحدار استخدام الأراضي 61
3.5.2. نماذج لاغرانج لحساب التشتت 64

3.6. متطلبات بيانات الإدخال 67

4. التوصيات 71

المراجع 72

قائمة الأشكال

الشكل 1 مثال على الأدوات المختلفة المستخدمة لحل مقاييس الرسم المختلفة 57

الشكل 2 نماذج انحسار استخدامات الأراضي LUR تستخدم قياسات للتنبؤ بتقديرات المحيط من خلال الارتباط بمتغيرات التخمين المكاني 61

الشكل 3 في نماذج انحسار استخدامات الأراضي LUR يتم التعبير عن المتغيرات التابعة (التقديرات التقريبية) من حيث المتغيرات الموضحة على يمين علامة التساوي 62

الشكل 4 في نماذج انحسار استخدامات الأراضي LUR يتم التعبير عن المتغيرات التابعة (Y) من حيث متغيرات التوقع (Xi، i = 1،2،.. n). م خرجات نموذج الانحسار هي المعاملات βi والبيانات حول الخطأ ε 63

الشكل 5 مخطط يوضح المكونات التي تشكل نموذج التشتت 64

الشكل 6 خرائط ملونة لتوزيع أكاسيد النيتروجين على ارتفاع 30 مترًا فوق سطح الأرض في أحد أحياء بيروت لارتفاعات مختلفة لمداخن المولدات 65

الشكل 7 التمثيل الرقمي (دون مقياس رسم) للتضاريس والمباني والشوارع في مدينة بيروت 69

الشكل 8 مثال على جرد انبعاثات في بيئة نظم معلومات جغرافية 70

الاختصارات

As	الزرنيخ
BC	الكربون الأسود
Cd	الكادميوم
CH_4	الميثان
CHP	الجمع بين الحرارة والقوة
CO	أول أكسيد الكربون
CO_2	ثاني اوكسيد الكربون
Cr	الكروم
Cu	نحاس
EEA	وكالة البيئة الأوروبية
EMEP	برنامج المراقبة والتقييم الأوروبي
GC-MS	مطياف الكتلة اللوني للغاز
GCC	مجلس التعاون لدول الخليج العربية
GFS	نظام التنبؤ العالمي
H_2S	كبريتيد الهيدروجين
HCB	سداسي كلور البنزين
HCl	كلوريد الهيدروجين
HF	فلوريد الهيدروجين
Hg	الزئبق
HM	معدن ثقيل
IFR	قواعد الطيران الألى
LPG	غاز البترول المسال
LR	الانحدار الخطي
LUR	انحدار انحسار استخدامات الأراضي
MSW	النفايات البلدية الصلبة
N_2O	أكسيد النيتروز
NCEP	المراكز الوطنية للتنبؤ البيئي
NFR	تسمية التقارير
NH_3	الأمونيا
NMVOC	المركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية
NO	أكسيد النيتروجين
NO_2	ثاني أكسيد النيتروجين
NO_3	نترات
NO_x	أكاسيد النيتروجين
O_3	الأوزون
PAH	الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات
Pb	رصاص
PCA	تحليل المكون الرئيسي
PCB	ثنائي الفينيل متعدد الكلور
PCDD	ثنائي بنزو بارا ديوكسينات متعدد الكلور
PCDF	ثنائي بنزوفيوران متعدد الكلور
PM	الجسيمات الدقيقة
PM_{10}	جسيمات دقيقة يبلغ قطرها 10 ميكرومتر أو أقل
$PM_{2.5}$	جسيمات دقيقة يبلغ قطرها 2.5 ميكرومتر أو أقل
POP	الملوثات العضوية الثابتة
SO_x	أكاسيد الكبريت
SO	أول أكسيد الكبريت
SO_2	ثاني أكسيد الكبريت
SO_3	ثالث أكسيد الكبريت
VFR	قواعد الطيران المرئي
VOC	المركبات العضوية المتطايرة
WHO	منظمة الصحة العالمية
WRF	أبحاث الطقس والتنبؤ به
Zn	الزنك

1. المقدمة

1.1. الحاجة الى قوائم مصادر الانبعاثات

يشكل تلوث الغلاف الجوي مصدر قلق متزايدا بسبب تأثيره الضار على صحة الإنسان والزراعة والنظم البيئية الطبيعية. يمكن أن تكون «البصمات البيئية»، التي تقيس استهلاك الموارد، بمثابة مؤشر على شدة تلوث الهواء في مختلف البلدان، بما في ذلك دول مجلس التعاون في مجلس التعاون لدول الخليج العربية. إن إجراءات الحد من تلوث الهواء تتماشى مع أهداف التنمية المستدامة. على سبيل المثال، الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة يهدف إلى تقليل الأثر البيئي الضار للفرد الواحد للمدن، بما في ذلك عن طريق إيلاء اهتمام خاص لجودة الهواء.

تعد قوائم جرد الانبعاثات عالية الجودة هي الأساس الذي يمكن من خلاله تطوير استراتيجيات محسَّنة لمنع الانبعاثات والسيطرة عليها على مستويات مختلفة. وتتطلب القضايا الإقليمية مثل تكوين أوزون التروبوسفير (O_3) وزيادة الأحمال الجوية من الجسيمات خاصة ($PM_{2.5}$) التي يبلغ قطرها 2.5 ميكرومتر أو أقل (أيضًا قوائم جرد عالية الجودة للانبعاثات من أجل تطوير استراتيجيات خفض منسقة إقليمياً. يعتبر هذا صحيحا بشكل خاص بالنظر إلى أن توزيع ملوثات الهواء في هذه المنطقة يتأثر بشدة بالعواصف الرملية الموسمية (Brown et al., 2008; Meo et al., 2013) ويتفاقم بسبب حقيقة أنه بسبب صغر مساحة الأرض في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية يصعب على دول مجلس التعاون مثل قطر والإمارات العربية المتحدة والكويت أن تحدد بشكل واضح اي من الملوثات تنشأ من داخل الدولة وأيها من الخارج. تعكس توصيات هذا الدليل أهمية هذا الجانب.

لذلك، لتحقيق الأهداف المشتركة وحماية الصحة العامة والبيئة، هناك حاجة إلى بذل جهود إضافية لتقييم جودة الهواء. بدون قوائم جرد مفصلة وموثوقة للانبعاثات، توجد فرصة ضئيلة لتطوير خطط استراتيجية للتعامل مع مشاكل تلوث الهواء على المستوى الإقليمي أو الوطني أو المحلي ولمراقبة تأثير مثل هذه الخطط. في أوروبا وأمريكا الشمالية، هناك تقارير وطنية رسمية لقوائم جرد الانبعاثات لعدد من الملوثات في اتفاقية تلوث الهواء بعيد المدى العابر للحدود. ومع ذلك، في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الحساب الروتيني لتقديرات الانبعاثات عالية الجودة إما غائب أو متاح فقط لعدد قليل من البلدان، والقدرة على إجراء الحسابات اللازمة غير متوفرة بشكل عام. وفي غياب عوامل الانبعاث الخاصة بالمنطقة، يعتمد هذا الدليل على عوامل الانبعاث المنشورة في دليل انبعاثات ملوثات الهواء الذي أعدته وكالة البيئة الأوروبية (EEA) والبرنامج الأوروبي للرصد والتقييم (EMEP) (وكالة البيئة الأوروبية، 2019). يجمع دليل وكالة البيئة الاوربية والبرنامج الاوربي للرصد والتقييم10727 من عوامل الانبعاث من المستوى 1 والمستوى 2، وكفاءات التخفيف، وبيانات استهلاك الوقود من 429 مرجعًا متميزًا بما في ذلك وكالة حماية البيئة الأمريكية، والهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، والعديد من المراجع. ويوفر دليل وكالة البيئة الاوربية والبرنامج الاوربي للرصد والتقييم أيضًا منهجية لتجميع قوائم الجرد ومعاملات الانبعاث الافتراضية. ومع ذلك، يتم تشجيع البلدان على حساب معاملات الانبعاث الخاصة بها لتحسين الدقة.

يوفر الدليل الحالي إرشادات فنية لإعداد قوائم جرد وطنية للانبعاثات مصممة خصيصًا لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، ويكون مصحوبًا بحاسبة خاصة لإجراء حساب الانبعاثات بطريقة تمكن من التنسيق والتجميع على المستوى الإقليمي.

1.2. مبادئ الممارسة الجيدة في اعداد قوائم الجرد

1.2.1. مبادئ الجرد الأساسية

يتم حساب انبعاثات الملوثات المختلفة من مصادر أرضية محددة. يمكن أن يتراوح النطاق الجغرافي للجرد من العالمي إلى الخاص. يوضح هذا الدليل بالتفصيل خطوات حساب الجرد الوطني لسنة معينة. وبمجرد إنشاء قوائم الجرد، يمكن مقارنتها لعدة سنوات (متسلسلة زمنية) واستخدامها لتصميم خطط فعالة لخفض انبعاثات ملوثات الهواء.

يشتمل الدليل على فحوصات مناسبة لضمان الجودة وضبط الجودة للتأكد من أن قوائم الجرد شفافة ودقيقة وكاملة ومتسقة وقابلة للمقارنة. لقد تم تطوير مبادئ ضمان الجودة ومراقبة الجودة التي يجب اتباعها في هذا الدليل من قبل EMEP (وكالة البيئة الأوروبية، 2019) وتشمل:

الشفافية تقديم وثائق كافية وواضحة لدعم الحسابات المبنية على المتطلبات المحددة للجرد.

الاتقان تقديرات توثق جميع المصادر ذات الصلة في منطقة جغرافية محددة. وإذا كانت العناصر مفقودة، فيجب توثيق غيابها بوضوح داخليًا وإبرازها بالاقتران مع أي بيانات منشورة.

التناسق اعتماد نفس المنهجية لتقدير جرد السنوات المختلفة والغازات والمصادر بحيث تعكس الاختلافات في النتائج بين السنوات والمصادر الاختلافات الحقيقية في الانبعاثات.

قابلية المقارنة تجميع قوائم الجرد بطريقة تكون قابلة للمقارنة مع تلك الموجودة في البلدان الأخرى. ويتم ضمان ذلك من خلال اعتماد تصنيف وتعريف مشترك لمصادر الانبعاثات ومن خلال تقديم البيانات في قوالب التقارير القياسية.

الدقة تقليل التحيزات في الجرد عن طريق عمل تقديرات مدروسة جيدًا.

الفئة الرئيسية يجب إعطاء الأولوية لفئات مصادر معينة لأنها مهمة بشكل كبير لواحد أو أكثر من ملوثات الهواء في الجرد الوطني لملوثات الهواء في بلد ما من حيث المستوى المطلق أو المحدد أو غير الموثوق للانبعاثات.

يمثل الاتساق في السلاسل الزمنية السنوية وإمكانية المقارنة بين السنوات تحديات عند إدخال عوامل وطرق جديدة للانبعاثات أو توفر معلومات إضافية لتحسين التقديرات. في هذه الحالة، من المهم إعادة الحساب عن طريق تطبيق الطريقة الجديدة والبيانات الجديدة على جميع السنوات المستخدمة في السلاسل الزمنية. وبالنظر إلى الوقت والجهد اللازمين لإعادة الحساب، فإن هذا الدليل يتضمن حسابات جرد مطورة حديثًا. تتيح هذه الأداة المستقلة حساب او إعادة الحساب السنوي لمراعاة التغيرات في معاملات الانبعاث بحيث يمكن إجراء مقارنات بين السنوات. وتمكن هذه الحسابات المستخدم أيضًا من إجراء تقنيات الربط بسهولة بما في ذلك الاستقراء والاستقصاء واعتبارات التداخل واستخدام البيانات البديلة (أي البيانات المرتبطة بالانبعاثات الحقيقية).

1.2.2. طرق التقدير

يعتمد النهج التنازلي لتقدير الانبعاثات على استخدام معاملات الانبعاث العامة المقترنة ببيانات الأنشطة عالية المستوى (الوطنية). ومن الأمثلة على ذلك تقدير انبعاثات الوقود بناءً على إجمالي استهلاك الوقود الوطني ومعامل الانبعاث المرتبط به. يمكن تقليص تقديرات الانبعاثات إلى نطاق جرد أصغر بناءً على بيانات بديلة للنشاط الجغرافي أو الديموغرافي أو الاقتصادي أو أي نشاط فرعي آخر. يستخدم هذا النوع من حساب التقدير بشكل شائع عندما لا تتوفر البيانات المحلية و/ أو تكون تكلفة جمع المعلومات المحلية عالية. بينما يتطلب النهج التنازلي الحد الأدنى من الموارد، وترتبط القيم المتولدة بمستوى عالٍ من عدم اليقين وفقدان محتمل للدقة في تقدير الانبعاثات (US EPA O., 2007).

يستخدم النهج التصاعدي لتقدير الانبعاثات البيانات الخاصة بالمصدر (للمصادر الثابتة) والبيانات الخاصة بالفئة على المستوى المكاني الأكثر دقة (للمصادر غير الثابتة والمتنقلة). ويتم تلخيص تقديرات الانبعاث للمصادر الفردية (وفئات المصادر) للحصول على جرد على مستوى المجال. يُستخدم هذا النهج عادةً عند توافر نشاط خاص بالمصدر/ الفئة أو بيانات الانبعاث. على هذا النحو، فإنه ينتج توزيع انبعاث مكاني أفضل.

تعتمد منهجية المستوى 1 على استخدام عامل انبعاث فردي لكل نوع من أنواع الملوثات الى جانب إحصائية لمعدل النشاط على المستوى الوطني. إن المعادلة العامة هي:

$$E_{polluant} = AR \times EF_{polluant}$$

حيث Epollutant هو انبعاث الملوث المحدد، AR هو معدل النشاط، EFpollutantg هو عامل الانبعاث لهذا الملوث. يتم تطبيق هذه المعادلة على المستوى الوطني. تفترض معاملات الانبعاث من المستوى 1 تنفيذ للتكنولوجيا النموذجية وتخفيف متوسط في البلد. في الحالات التي يلزم فيها أخذ خيارات التخفيف المحددة في الاعتبار، لا تكون طريقة المستوى 1 قابلة للتطبيق ويجب استخدام نهج المستوى 2.

لتطبيق نهج المستوى 2، يجب تقسيم بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث إلى طبقات وفقًا لتقنيات الإنتاج/ التخفيف المختلفة المنتشرة في الدولة. إن معادلة المستوى 2 العامة هي:

$$E_{polluant}=\sum[AR_{technology} \times EF(_{technology,polluant})]$$

حيث هو انبعاث الملوث المحدد، هو معدل الإنتاج ضمن فئة المصدر، باستخدام تقنية معينة، وهي عامل الانبعاث لهذه التقنية وهذا الملوث. يُنصح عمومًا باستخدام طرق ذات مستويات أعلى للفئات الرئيسية كلما يكون ذلك ممكنًا.

1.2.3. جمع البيانات

يعد جمع البيانات خطوة أساسية في التحضير لحساب الانبعاثات. يمكن الحصول على بيانات عن مصادر الانبعاث من المكاتب الإحصائية الوطنية والوزارات المعنية والمسوحات المستهدفة (لتجميع قوائم الجرد الأصغر). من الأفضل جمع بيانات إضافية عن التقنيات والتخفيف من مزودي البيانات. وفي حالة عدم توفر مثل هذه البيانات، يتم تنفيذ نهج «رأي الخبراء» من خلال مطالبة العديد من الخبراء، بشكل مستقل، بتقديم تقديرات تستند إلى إجراءات موثقة.

وبالنظر إلى العدد الكبير من المصادر في أي بلد معين، يجب إعطاء الأولوية للمصادر الرئيسية التي تساهم بشكل كبير في انبعاثات تلوث الهواء في ذلك البلد. وإذا لم تتم محاولة إجراء جرد للانبعاثات في بلد معين، فقد يلجأ هذا البلد إلى النهج التنازلي أو اعتماد مصادر الأولوية الرئيسية التي حددها بلد آخر له مصادر محلية مماثلة.

وفي حالة عدم محاولة جرد الانبعاثات على الإطلاق، يجب أن تبدأ البلدان باستخدام منهجية المستوى 1 لجميع مصادر الملوثات وتقديم قائمة جرد كاملة. وبمجرد اكتمال الجرد الأول، يجب إعطاء الأولوية لتحسينات الفئات الرئيسية.

1.2.4. هيكلة البيانات

يضمن هيكل البيانات الواضح والموحد شفافية وقابلية أفضل للمقارنة. ويسمح هيكل البيانات الموحد أيضًا بتحديث قوائم الجرد بسهولة أكبر كلما توفرت بيانات جديدة. وعند استخدام قوائم جرد الانبعاثات لنماذج نوعية الهواء، يمكن تطبيق كل من المدخلات والمخرجات القياسية على النماذج الإقليمية المختلفة لتلوث الهواء العابر للحدود.

1.3. الملوثات التي يغطيها هذا الدليل

1.3.1. أكاسيد النتروجين NO_x

يشير NO_x إلى شكلين من أكاسيد النيتروجين الموجودة في الغلاف الجوي، وهما أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2). تنبعث أكاسيد النيتروجين من مصادر طبيعية وبشرية المنشأ مثل الصواعق وعمليات الزراعة والأسمدة الصناعية والعمليات الحرارية بما في ذلك احتراق الوقود الأحفوري والوقود العضوي. عندما ينبعث في الغلاف الجوي، تتفاعل أكاسيد النيتروجين مع ضوء الشمس والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) لتكوين الأوزون التروبوسفيري. يتفاعل NO_2 أيضًا مع جذور الهيدروكسيل الحرة وO_3 لتكوين حمض النيتريك الذي يساهم في هطول الأمطار الحمضية. كانت الطريقة القياسية لقياس NO_2 في دراسات جودة الهواء هي استخدام تقنيات تحويل السطح لتحويل NO_2 إلى NO ولاحقًا لاكتشاف NO عن طريق اللمعان الكيميائي. تؤثر أكاسيد النيتروجين بشكل رئيسي على الجهاز التنفسي عند استنشاقها حيث تتسبب في التهاب الشعب الهوائية والصداع والغثيان؛ ويمكن أن يؤدي التعرض طويل الأمد إلى الإصابة بالربو (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.2. أكاسيد الكبريت SO_x

تمثل SO_x أشكالًا مختلفة من أكاسيد الكبريت في الغلاف الجوي بما في ذلك ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وثالث أكسيد الكبريت (SO_3) وأول أكسيد ثنائي الكبريت (S_2O). تنبعث أكاسيد الكبريت من مجموعة متنوعة من المصادر الطبيعية والبشرية مثل رذاذ البحر واحتراق الوقود الأحفوري وإنتاج الطاقة والعمليات الصناعية (بما في ذلك التعدين والصهر وتكرير البترول Pan)، 2011. (توجد أكاسيد الكبريت عادة في حالات غازية أو في شكل رذاذ في الغلاف الجوي وعمرها قصير. يتفاعل SO_2 تفاعلا كيميائيا ضوئيا لتكوين SO_3 وحمض الكبريتيك، وكلاهما يساهم في هطول الأمطار الحمضية.

يتم قياس SO_2 في الغلاف الجوي باستخدام محلل SO_2 الذي يعمل على أساس امتصاص ضوء الأشعة فوق البنفسجية بطول موجة واحد بواسطة جزيئات SO_2 والتي تتحلل بعد ذلك إلى مستوى طاقة أقل عن طريق انبعاث ضوء الأشعة فوق البنفسجية بطول موجي أطول. يؤدي التعرض لثاني أكسيد الكبريت إلى الإضرار بالجهاز التنفسي ويمكن أن يؤدي إلى الإصابة بالسرطان إذا تم استنشاق تراكيز كبيرة منه. ويمكن أن تدخل أكاسيد الكبريت في شكل رذاذ إلى الرئتين وتسبب مشاكل في القلب والأوعية الدموية والتي يمكن أن تؤدي إلى الوفاة عند استنشاق تراكيز عالية. (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.3. $PM_{2.5}$

هي عبارة عن مادة جسيمية يبلغ قطرها 2.5 مايكرومتر أو أقل والتي تتكون أساسًا من مصادر بشرية المنشأ بما في ذلك احتراق الوقود الأحفوري والوقود العضوي في المركبات والعمليات الصناعية والصناعات الاستخراجية. ويمكن أن تتكون الجسيمات الثانوية من خلال التفاعلات الكيميائية بين الغازات الملوثة بما في ذلك أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت. ويمكن أن تظل هذه الجسيمات الدقيقة في الهواء لأسابيع بسبب صغر حجمها. إن إحدى الطرق لتحديد تركيزات $PM_{2.5}$ في الغلاف الجوي هي تحليل الجاذبية حيث يمثل الفرق بين كتلة المرشحات التي تم وزنها قبل وبعد جمع عينات الجسيمات. ومن خلال حساب معدل التدفق ومدة النمذجة، يمكن حساب تركيز $PM_{2.5}$. تُسبب الجزيئات الدقيقة تهيج العين والأنف والحنجرة والرئة والسعال والعطس وسيلان الأنف وضيق التنفس عند التعرض لفترة قصيرة. ويمكن أن يؤدي التعرض طويل المدى إلى الإصابة بالربو والتهاب الشعب الهوائية ومشاكل القلب والأوعية الدموية (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

PM_{10} 1.3.4.

هي عبارة عن جسيمات يبلغ قطرها 10 ميكرومتر أو أقل تتكون من مصادر طبيعية وبشرية مثل حرائق الغابات ورذاذ البحر والعواصف الترابية والبناء وتشمل $PM_{2.5}$ الأكثر دقة. تبقى الجسيمات الكبيرة عادة عالقة في الغلاف الجوي لبضعة ساعات فقط قبل أن تنزل من خلال الترسيب. كما هو الحال مع $PM_{2.5}$، يتم قياس تراكيز PM_{10} في الغلاف الجوي باستخدام تحليل الجاذبية. يؤدي التعرض لـ PM_{10} إلى السعال وضيق التنفس وضيق الصدر وتهيج العينين الذي يمكن أن يؤدي إلى خلل في الجهاز التنفسي على المدى الطويل (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

CO 1.3.5.

يُعدّ أول أكسيد الكربون (CO) أحد أكثر ملوثات الهواء سُمّية، وهو مشتق بشكل أساسي من الأنشطة البشرية، بما في ذلك الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري (بشكل رئيسي في المركبات والعمليات الصناعية) ودخان التبغ. يتكون أيضًا من التحلل الضوئي لبعض المركبات العضوية المتطايرة (خاصة تلك المنبعثة من النباتات) في الغلاف الجوي. يمتلك اول أكسيد الكربون عمرا قصيرا في الغلاف الجوي؛ ومع ذلك، فإنه يتفاعل مع الأكسجين وضوء الشمس لتكوين ثاني أكسيد الكربون CO_2 وO_3، مما يساهم أيضًا في تلوث الهواء. يتم الكشف عن مستويات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عن طريق قياس امتصاص الأشعة تحت الحمراء في مقياس ضوئي غير مشتت. تشمل الآثار الصحية الرئيسية لأول أكسيد الكربون ارتباطه بهيموجلوبين الدم، مما يؤثر على إمداد الجسم بالأكسجين ويمكن أن يؤدي إلى الوفاة (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

NH_3 1.3.6.

الأمونيا (NH_3) هي غاز قلوي يوجد على نطاق واسع في الغلاف الجوي. إن المصدر الرئيسي للأمونيا هو الزراعة، بما في ذلك تربية الماشية واستخدام الأسمدة، كما تعد انبعاثات المركبات مصدرا مهما. تتفاعل الأمونيا مع الملوثات الأخرى لتكوين $PM_{2.5}$ المحتوي على الأمونيوم. يتم الكشف عن مستويات الأمونيا الغازية عن طريق جمع عينة من الهواء المحيط على اعمدة مطلية حيث يتم الجمع والتحليل باستخدام كروماتوجرافيا الأيونات. تؤثر الأمونيا على الجهاز التنفسي عن طريق حرق الأنف والجهاز التنفسي وإحداث اضطراب في المجرى التنفسي وأكياس الحويصلات الهوائية (ATSDR, 2004; Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

NMVOCs 1.3.7.

تشتمل المركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية (NMVOCs) على مركبات عضوية مثل البنزين والإيثانول والفورمالديهايد والهكسان الحلقي و1،1،1 ثلاثي كلورو الإيثان والمركبات الأخرى التي لها تركيبات كيميائية مختلفة ولكنها تسلك سلوكا مشابها في الغلاف الجوي. تنبعث NMVOCs من مجموعة متنوعة من المصادر بما في ذلك احتراق الوقود واستخدام المذيبات والعمليات الصناعية والاستخدام التجاري والمركبات والزراعة وطمر النفايات. تلعب المركبات العضوية المتطايرة NMVOCs في الغلاف الجوي دورًا مهمًا في تكوين أوزون التروبوسفير، ويتفاعل بعضها (مثل البنزين والتولوين والإيثيل بنزين والزيلين) مع جذور الهيدروكسيل والنترات لتحللها إلى رذاذ عضوي في الغلاف الجوي. ويُمكن قياس تركيز NMVOCs في الهواء باستخدام كروماتوجرافيا الغاز - مطياف الكتلة (GC-MS) أو كروماتوجرافيا الغاز باستخدام كاشف التأين باللهب. وتعتبر بعض المركبات العضوية المتطايرة NMVOC خطرة على صحة الإنسان، بما في ذلك البنزين و1.3 بيوتادين (وهي مادة مسرطنة). تؤثر بعض المركبات على الجهاز التنفسي عند استنشاقها (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

H_2S 1.3.8.

كبريتيد الهيدروجين (H_2S) هو غاز عديم اللون ناتج عن عمليات مختلفة. يرجع انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين إلى مصادر طبيعية وبشرية بما في ذلك أنشطة الطاقة الحرارية الأرضية والعمليات الصناعية ومعالجة مياه الصرف الصحي وتكرير النفط وحرق الوقود الذي يحتوي على الكبريت. على الرغم من أن عمر H_2S في الغلاف الجوي قصير، إلا أنه يتفاعل مع O_3 في وجود الضوء ويشكل ثاني أكسيد الكبريت، والذي بدوره يمكن أن يزيد مستويات التلوث. يتم قياس مستويات كبريتيد الهيدروجين باستخدام كروماتوجرافيا الغاز. عند استنشاقه، يسبب H_2S تهيجًا في الجهاز التنفسي ويمكن أن يكون له آثار خطيرة على الجهاز العصبي (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

BC 1.3.9.

الكربون الأسود (BC) هو ملوث ذو جسيمات الدقيقة يشكل تهديدًا كبيرًا على البيئة وصحة الإنسان. تنبعث دقائق الكربون الاسود من مصادر مختلفة مثل محركات الغاز والديزل ومحطات الطاقة التي تعمل بالفحم وحرق النفايات البلدية. ومن أجل مراقبة مستويات الكربون الاسود في الغلاف الجوي، يتم استخراج الكربون الاسود من عينات الهواء وتحليلها باستخدام التحليل الحراري البصري. بينما يعتبر الكربون الاسود ملوثًا قصير البقاء في الهواء، فإنه يساهم بشكل كبير في الاحتباس الحراري عن طريق امتصاص أشعة الشمس والتفاعل مع السحب. ويمكن أن يتسبب الكربون الأسود أيضًا في آثار صحية خطيرة، بما في ذلك أمراض الجهاز التنفسي والقلب والأوعية الدموية والسرطان والعيوب الخلقية (Seinfeld & Pandis, 2016; WHO, 2010b).

BC 1.3.10.

الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs) هي مجموعة كبيرة من المركبات العضوية التي تنتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود وتكرير النفط وحرق النفايات. تتحلل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات ضوئيًا تحت الأشعة فوق البنفسجية وتتفاعل مع الملوثات الأخرى. تتم المراقبة عن طريق استخراج الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات من عينات الهواء واستخدام GC-MS لتقدير وتحديد أنواع الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات الموجودة. تؤدي الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والتي يتعرض لها البشر بشكل رئيسي عن طريق الاستنشاق إلى مخاطر صحية بما في ذلك السمية الجينية والسمية المناعية والتسرطن (خاصة سرطان الرئة)(Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

Benzo[a]pyrene 1.3.11.

بنزو[أ]بيرين (B[a]P) هو نوع من الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. تم تصنيفها على أنها مادة مسرطنة من النوع A من قبل الوكالة الدولية لأبحاث السرطان[1]. يتكون B [a] P بشكل طبيعي في حرائق الغابات وينبعث من مصادر بشرية المنشأ بما في ذلك الاحتراق غير الكامل للوقود بما في ذلك المركبات ذات المحركات. عند انبعاثها في الغلاف الجوي، يمكن أن تلتصق B [a] P بـ PM. لها عمر قصير في الغلاف الجوي وتتحول تحت الأكسدة الكيميائية الضوئية. (Faust, 1994) تُقاس مستوياتها في الهواء المحيط عن طريق جمع عينات الهواء وترشيحها وتطبيق كروماتوجرافيا سائلة عالية الأداء أو GC / MS. إن استنشاق B [a] P يؤثر على الجهاز التنفسي والجهاز التناسلي ويحفز السمية المناعية، ويزيد التعرض طويل الأمد من خطر الإصابة بالسرطان(Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

[1] الوكالة الدولية لأبحاث السرطان (IARC) هي جزء من منظمة الصحة العالمية. تعمل على تنسيق وإجراءالبحوث الوبائية والمخبرية في أسباب الإصابة بسرطان الإنسان.

POP_s 1.3.12.

الملوثات العضوية الثابتة (POPs) هي مواد كيميائية عضوية تمتلك مجموعة معينة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية بحيث تظل مستقرة، بمجرد إطلاقها في البيئة، لفترات طويلة بشكل استثنائي، وتنتشر على نطاق واسع في جميع أنحاء البيئة (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000).

PCB_s 1.3.12.1.

تعد مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs) إحدى فئات الملوثات العضوية الثابتة. وهي تتكون من مواد كيميائية عطرية ومن هيكل ثنائي الفينيل مع حلقتين بنزين مرتبطين حيث تم استبدال بعض أو كل ذرات الهيدروجين بواسطة ذرات الكلور. مصادر ثنائي الفينيل متعدد الكلور هي من صنع الإنسان بشكل أساسي، بما في ذلك تصنيع واستخدام المنتجات المحتوية على ثنائي الفينيل متعدد الكلور (مثل زيت التبريد في محولات الطاقة)، والانبعاثات من الخزانات الملوثة، والعمليات الحرارية، وحرق النفايات، وبعض عمليات الاحتراق. توجد مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في اطوار الجسيمات والبخار ولها عمر طويل في البيئة لأنها تتحلل ببطء. تخضع للتحلل الضوئي في ضوء الشمس وتتفاعل مع جذور الهيدروكسيل. تتم مراقبة مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور عن طريق استخلاصها من عينات الهواء واستخدام GC-MS لتحديد أنواع مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور الموجودة. تميل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور إلى جانب معظم الملوثات العضوية الثابتة إلى التراكم في الأنسجة الدهنية في الجسم. ويمكن أن تؤثر على الجهاز التنفسي والجلد والكبد والجهاز الهضمي والجهاز العصبي والجهاز التناسلي والجهاز المناعي. وقد يؤدي التعرض المطول إلى الإصابة بالسرطان (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

$PCDD_s/PCDF_s$ 1.3.12.2.

يعتبر ثنائي بنزو بارا ديوكسين متعدد الكلور (PCDDs) وثنائي بنزوفيوران متعدد الكلور (PCDFs) فئة أخرى من الملوثات العضوية الثابتة التي تتكون من مركبات عطرية ثلاثية الحلقات لها نفس الخصائص الكيميائية. تتشكل PCDDs وPCDFs كمنتجات ثانوية للعديد من التفاعلات الكيميائية العضوية، وإنتاج الورق، والعمليات الحرارية والاحتراق مثل الصهر، وتوليد الطاقة، والمركبات، وتصنيع مبيدات الأعشاب، وحرق النفايات ومعالجة مياه الصرف الصحي.

عند انبعاث PCDDs وPCDFs في الغلاف الجوي، تبقى هذه المركبات في شكلها الحر أو على شكل هباء جوي، ولها عمر طويل في طبقة التروبوسفير ويتم نقلها لمسافات طويلة. يتفاعل كلا المركبين مع جذور الهيدروكسيل بالتحلل الضوئي مما يؤدي إلى تحللها Atkinson)، 1991. (يتم قياس مستويات PCDDs وPCDFs عن طريق جمع عينات الهواء وترشيحها وتطبيق كروماتوجرافيا سائلة عالية الأداء أو GC / MS. عند استنشاقها، تزيد هذه المركبات من خطر الإصابة بالسرطان ويؤدي التعرض الطويل الأمد إلى تثبيط جهاز المناعة (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13. المعادن الثقيلة

عادة ما توجد المعادن الثقيلة (HMs) في الغلاف الجوي في شكل جسيمات عالقة (PM). واعتمادًا على الحجم، يمكن لهذه الجسيمات أن تنتقل بعيدًا وتكون ثابتة قبل أن تستقر على الأرض. للمراقبة، عادة ما يتم جمع الجسيمات الموجودة في الهواء على مرشحات غشاء أو أسيتات السليلوز باستخدام أجهزة أخذ عينات الهواء. وبعد الاستخلاص والتحضير، يتم تحليل المعادن باستخدام طرق تشمل مطياف الامتصاص الذري، ومطياف الامتصاص الذري لفرن الجرافيت، ومقياس طيف الانبعاث الذري للبلازما المقترنة بالحث، ومطياف تخفيف كتلة النظائر (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.1. Pb

الرصاص (Pb) هو مادة خطرة تؤثر على البيئة عند انبعاثها بكميات كبيرة. المصادر الرئيسية للرصاص هي مصاهر الرصاص، وتكرير وتصنيع المركبات المحتوية على الرصاص، والمحارق، واحتراق الفحم، والعمليات الصناعية الأخرى. يُساهم الوقود الذي يحتوي على إضافات الرصاص أيضًا في الانبعاثات. وعادة ما يتم استنشاق الرصاص في الجسم على شكل جسيمات عالقة. اعتمادًا على حجم الجسيمات، يصل هذا الجسيم إلى الجهاز التنفسي أو (للجزيئات الدقيقة) إلى مجرى الدم. يؤثر التسمم بالرصاص على الكلى وكذلك الجهاز العصبي والتناسلي والقلب والأوعية الدموية والكبد والغدد الصماء والجهاز الهضمي(Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.2. Hg

يوجد الزئبق (Hg) بشكل طبيعي في القشرة الأرضية. تشمل المصادر الطبيعية الانفجارات البركانية والانبعاثات من المحيط. أما المصادر البشرية تشمل تعدين الذهب الحرفي والضيق النطاق، والاحتراق الثابت للفحم، وإنتاج المعادن غير الحديدية، وإنتاج الاسمنت. وفي نهاية المطاف، تشق انبعاثات الزئبق طريقها إلى المسطحات المائية حيث تحولها كائنات دقيقة معينة إلى ميثيل الزئبق، وهو شكل شديد السمية يتراكم في الأسماك والمحار والحيوانات التي تأكل الأسماك. يأتي معظم تعرض الإنسان للزئبق من تناول الأسماك والمحار الملوثة بميثيل الزئبق. يؤدي التعرض للزئبق إلى آثار ضارة على الدماغ والقلب والكليتين والرئتين وجهاز المناعة. قد تؤدي المستويات العالية من ميثيل الزئبق في مجرى دم الجنين في الرحم والأطفال الصغار إلى الإضرار بأدمغتهم النامية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2019) (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.3. Cd

الكادميوم (Cd) هو مادة سامة حتى عند مستويات التعرض المنخفضة ولها تأثيرات كبيرة على صحة الإنسان والبيئة. المصادر البشرية المنشأ المهيمنة للانبعاثات الجوية هي إنتاج المعادن غير الحديدية، واحتراق الفحم والنفط، وحرق النفايات. أما المصادر الطبيعية الرئيسية فهي البراكين وتفتت الصخور. الكادميوم غير قابل للتحلل في الطبيعة ويؤدي الترسب من الغلاف الجوي إلى زيادة محتوى الكادميوم في التربة السطحية الزراعية مما يؤدي إلى زيادة تناول الإنسان من خلال المواد الغذائية. يتراكم الكادميوم في جسم الإنسان مما يتسبب في تلف أنبوبي كلوي، واضطرابات في استقلاب الكالسيوم، وفرط كالسيوم البول، وتشكيل حصوات في الكلى. يمكن أن يؤدي التعرض الشديد إلى سرطان الرئة والبروستاتا (مجلس وزراء دول الشمال، 2003) (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.4. Zn

على الرغم من أهمية الزنك (Zn) لجسم الإنسان، إلا أنه يمكن أن يكون سامًا بالتراكيز الأعلى. ينبعث أكسيد الزنك ومركبات أخرى في الغلاف الجوي مع جزيئات الزنك أثناء تعدين وصهر وتنقية المعادن بما في ذلك الرصاص والنحاس وكذلك الزنك. في حين أن عنصر الزنك ليس ضارًا، إلا أن مركبات الزنك تشكل مخاطر صحية عند استنشاقها. يُسبب أكسيد الزنك حمى دخان المعادن التي تُسبب أعراضا تشبه أعراض الأنفلونزا. إن كلوريد الزنك أكثر سُمّية من أكسيد الزنك ويمكن أن يسبب التهابات رئوية، بينما استنشاق أملاح الزنك يسبب تهيجا في الجهاز التنفسي والجهاز الهضمي (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.5. Cu

النحاس (Cu) هو مادة صلبة يمكن أن تلحق الضرر بالبيئة وصحة الإنسان. ينبعث النحاس في الغلاف الجوي من مصادر ثابتة بشرية المنشأ مثل احتراق الفحم والعمليات الحرارية واحتراق الوقود الصلب ومحارق النفايات. النحاس مادة سامة يمكن أن تسبب التهاب الشعب الهوائية المزمن وانتفاخ الرئة والربو وزيادة خطر الوفاة عند استنشاقه بتراكيز كبيرة (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.6. Cr

الكروم (Cr) هو معدن ثقيل موجود في التربة والماء والغلاف الجوي. على الرغم من عدم وجود العديد من أشكال الكروم Cr في الغلاف الجوي وهي غير متوفرة في شكلها الأولي، يتم قياس Cr (VI) وCr (III) لتقييم مستوياته. وبطبيعة الحال، يوجد الكروم في الصخور والحيوانات والنباتات والتربة والغازات. تنبعث من العمليات الصناعية Cr (III) في شكل رذاذ. يساهم تكرير الخام والمعالجة الكيميائية والحرارية وإنتاج الاسمنت والطلاء بالكروم في انبعاث الكروم في الغلاف الجوي. يتفاعل Cr (VI) في الهواء مع جزيئات الغبار أو الملوثات الأخرى لتكوين Cr غير المتفاعل (III). في حين أن Cr (VI) أكثر سمية من Cr (III)، فإن كلاهما يمثل مخاطر صحية كبيرة عند استنشاقه بكميات كبيرة. يؤثر كلا العنصرين على الجهاز التنفسي عن طريق إحداث ضيق في التنفس والسعال والصفير. يمكن أن يؤدي التعرض المزمن لـ Cr (VI) إلى التهاب الشعب الهوائية وانخفاض وظائف الرئة والالتهاب الرئوي والربو. كما أنه يؤثر على الكبد والكلى والجهاز المناعي ويمكن أن يؤدي إلى الإصابة بالسرطان عند استنشاقه لفترة طويلة (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.13.7. As

الزرنيخ (As) هو معدن ثقيل موجود كمركب عضوي وغير عضوي في الغلاف الجوي. ترجع وفرة الزرنيخ إلى مصادر طبيعية وبشرية. وبطبيعة الحال، تتشكل من العواصف الترابية، والنشاط الحراري الأرضي / الحراري المائي وحرائق الغابات، في حين تشمل المصادر البشرية تعدين المعادن وصهرها، وتعدين الفحم الغني وحرقه، ودخان التبغ. كما يوجد بشكل أساسي مرتبط بالأكسجين والكلور والكبريت و$PM_{2.5}$ ومستقر في الغلاف الجوي. ومع ذلك، يمكن أن يتفاعل أيضًا مع الرطوبة لتكوين مركبات مختلفة ذات تأثيرات صحية متفاوتة. يدخل الزرنيخ المرتبط بالجسيمات إلى الجهاز التنفسي ونظام القلب والأوعية الدموية. داخل الجسم، يزيد من خطر الإصابة بالسرطان ويمكن أن يؤدي التعرض طويل الأمد إلى تلف الأوعية الدموية والتسبب في السمية الجينية (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000; Seinfeld & Pandis, 2016).

1.3.14. غازات الاحتباس الحراري

يسرد دليل EMEP/ EEA عوامل الانبعاث لغازات الاحتباس الحراري (GHGs) في بعض القطاعات. غازات الدفيئة هذه هي الميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2). ينبعث الميثان أثناء إنتاج ونقل الفحم والغاز الطبيعي والنفط. تنتج انبعاثات الميثان أيضًا من الماشية وغيرها من الممارسات الزراعية ومن تحلل النفايات العضوية في مكبات النفايات الصلبة البلدية. ينبعث أكسيد النيتروز من بعض الأنشطة الزراعية والصناعية، واحتراق الوقود الأحفوري والنفايات الصلبة، فضلاً عن معالجة مياه الصرف الصحي. يدخل ثاني أكسيد الكربون الغلاف الجوي من خلال حرق الوقود الأحفوري والنفايات الصلبة والوقود العضوي وأيضًا نتيجة لتفاعلات كيميائية معينة (على سبيل المثال في صناعة الاسمنت).

1.4. المصادر الطبيعية غير المدرجة في هذا الدليل

1.4.1. العواصف الترابية

بعد إفريقيا، يُعدّ الشرق الأوسط من أكثر المناطق تضررًا من الغبار. إن التباين الموسمي لنشاط الغبار في الشرق الأوسط معقد ويختلف باختلاف المناطق الجغرافية. في معظم أنحاء الشرق الأوسط، يكون الغبار نشطًا طوال العام ولكن ينحسر في أشهر الشتاء. يزداد نشاط الغبار في مارس وأبريل ويبلغ ذروته في يونيو ويوليو ويضعف في سبتمبر (Hamidi et al., 2014a; Shao et al., 2010a).

تعتبر المنطقة (بما في ذلك بشكل رئيسي الهضبة العربية وحوض دجلة والفرات) منطقة تآكل رياح نشط. تنحدر الهضبة العربية إلى الأسفل في الاتجاه الجنوبي الغربي الشمالي الشرقي من الارتفاعات الأعلى المطلة على البحر الأحمر باتجاه الأراضي المسطحة المتاخمة للخليج. تحدد الأدبيات منطقتين من الغبار. تغطي إحدى المناطق سهول الطمي لنهر دجلة والفرات، والأراضي المنبسطة في شرق شبه الجزيرة العربية على طول الخليج، وصحراء الدهناء والربع الخالي. تم العثور على منطقة الغبار الثانية على طول ساحل عُمان، وعدد العواصف الترابية اليومية في هذه المنطقة أقل بكثير (Engelstaedter et al., 2003; Huang et al., 2006; Li et al., 2013; Maki et al., 2014; Ren et al., 2014; Rosenfeld et al., 2001; Sokolik et al., 1998).

يساهم الغبار الطبيعي بشكل كبير في تراكيز عالية من PM_{10} في الغلاف الجوي في المنطقة، وهناك اهتمام متزايد بفهم المخاطر البيئية وصحة الإنسان المرتبطة بالغبار المحمول بالرياح (WHO, 2010a). والجدير بالذكر أن نسبة الوفيات القلبية الرئوية المرتبطة بالتعرض للغبار تزداد إلى 15-50٪ في دول الشرق الأوسط من المتوسط العالمي البالغ 1.8٪ تقريبًا (Darmenova et al., 2009). يساهم الغبار في تغيير الموازنات الإشعاعية الشمسية، وتغيير خصائص السحب، وتقليل مدى الرؤية، والنقل بعيد المدى للمواد الكيميائية العضوية، والأنواع البكتيرية المحمولة جواً، والمعادن الاثرية (Crooks et al., 2016; Goudie, 2014).

يتضمن انبعاث الغبار العديد من العمليات المعقدة وغير الخطية التي تحكمها الأحوال الجوية وسطح الأرض وقوام التربة. يرتبط تدفق الغبار ارتباطًا وثيقًا بسرعة الرياح (سرعة الاحتكاك) وخشونة السطح ورطوبة التربة وجزء الغطاء النباتي ونوع التربة وملمسها وكثافة الهواء. يمكن أن تؤدي الأخطاء الصغيرة في نمذجة هذه العوامل إلى عدم التأكد من صحة معدلات تدفق الغبار (Ginoux et al., 2004; Hamidi et al., 2014b; Nickovic et al., 2001; Shao et al., 2010b; Sun et al., 2006; Zender et al., 2003).
نتيجة لذلك ولكون العواصف الترابية هي ظاهرة عابرة للحدود، فمن الصعب تقدير تأثير العواصف الترابية على جودة الهواء المحلي باستخدام طرق تقدير الانبعاثات القياسية.

تعتمد طرق التقدير عادة على المحاكاة العددية. تم تطوير عدد من النماذج لتنبؤات الغبار الإقليمية والعالمية (Vickery et al., 2013) تتكون هذه النماذج من عدة مخططات لانبعاث الغبار مقترنة بنظام المعلومات الجغرافية (GIS) ويتم فرضها بواسطة بيانات الرياح. تعتمد الطرق الأخرى لتجميع بيانات الغبار على بيانات الأقمار الصناعية المفسرة بصريًا مثل MODIS وMSG-SEVIRI (Vickery et al., 2013). لم يتم تضمين تقديرات الانبعاثات هذه في هذا الدليل. ومع ذلك، يمكن أن تكون الطرق الموضحة في **الفصل 4** مفيدة في اتباع نهج نمذجة تشتت الغبار الخاص بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية للتنبؤ بالغبار في المنطقة.

1.4.2. حرائق الغابات

حرائـق الغابـات ليسـت مصـدرا رئيسـيا للانبعاثـات فـي دول مجلـس التعـاون لـدول الخليـج العربيـة. تشـمل الانبعاثـات مـن حـرق الغطـاء النباتـي ثانـي أكسـيد الكبريـت، وأكاسـيد النيتروجيـن، وثانـي أكسـيد الكربـون، والميثـان، والمركبـات العضويـة المتطايـرة غيـر الميثانيـة، والأمونيـا، والجسـيمات الدقيقـة، بمـا فـي ذلـك الكربـون الأسـود BC. يحـدث الاحتـراق أثنـاء تحويـل الغابـات أو الأراضـي العشـبية إلـى اسـتخدامات زراعيـة أو اسـتخدامات أخـرى، والحرائـق الموصوفـة لإدارة الحرائـق أو صيانـة الغابـات، والحرائـق الأخـرى التـي تبـدأ إمـا عـن طريـق الخطـأ مـن قبـل الإنسـان أو بشـكل طبيعـي عـن طريـق البـرق.

تعتمـد الانبعاثـات مـن حرائـق الغابـات علـى **(1)** مـدة وشـدة الحريـق، **(2)** إجمالـي المسـاحة التـي أحرقتهـا النيـران، و**(3)** نـوع وكميـة الغطـاء النباتـي الـذي تـم حرقـه. غالبًـا مـا يشـار إلـى النقطـة الاخيـرة باسـم حمـل الوقـود. مـن بيـن النقـاط الثلاثـة السـابقة الذكـر، مـا يمكـن قياسـه بمسـتوى معقـول مـن الدقـة هـو إجمالـي المسـاحة المحترقـة.

المنتجـات الرئيسـية لحـرق الوقـود العضـوي هـي ثانـي أكسـيد الكربـون وبخـار المـاء. ومـع ذلـك، يتـم أيضًـا إنتـاج عـدد كبيـر مـن الجسـيمات والغـازات النـزرة، بمـا فـي ذلـك منتجـات الاحتـراق غيـر الكامـل الكربـون الاسـود (BC)، وCO، وNMVOC وأنـواع النيتروجيـن والكبريـت، والتـي يمكـن أن يؤثـر بعضهـا بشـكل غيـر مباشـر علـى إنتـاج O_3 فـي التروبوسـفير. تنشـأ هـذه جزئيـاً مـن النيتروجيـن والكبريـت الموجـودان فـي الغطـاء النباتـي والمـواد العضويـة فـي التربـة السـطحية. بالإضافـة إلـى ذلـك، يمكـن أن تنشـأ الانبعاثـات مـن إعـادة تطايـر المـواد المترسـبة.

2. مصادر الانبعاث

2.1. الطاقة

1.4.2. الاحتراق

يتضمن هذا القسم الانبعاثات الناتجة عن الاحتراق في صناعات الطاقة والتصنيع والنقل. يتم تناول الانبعاثات المتعلقة بالعمليات الصناعية من غير احتراق في القسم 2.2.
توفر أنشطة الاحتراق التي يتم إجراؤها في الصناعات التحويلية بشكل عام حرارة التصنيع (بشكل مباشر أو غير مباشر عادةً عن طريق البخار أو الماء أو الزيت) أو الكهرباء أو الوقود الذي يمكن تحويله في نشاطات الإنتاج. تتعلق أنشطة الاحتراق بشكل أساسي باستخدام الوقود في المراجل البخارية التقليدية أو الأفران أو التوربينات الغازية أو المحركات أو غيرها من أشكال الاحتراق. ستعتمد انبعاثات الملوثات على الوقود ونشاط العملية. إن الملوثات المرتبطة بشكل عام بالاحتراق هي: SO_2، PCDD / Fs، PAH، HMs، BC، PM، CO،NMVOCs، NO_x، وفي بعض الأنشطة، مركبات PCBs وسداسي كلور البنزين (HCB). يتم سرد مدخلات منفصلة للسعات والتقنيات والمثبطات المختلفة في حسابات الجرد الملحقة.

تشمل انبعاثات قطاع النقل الانبعاثات الناتجة من **(1)** احتراق الوقود (انبعاثات العادم) أثناء أنشطة النقل، ومن **(2)** الانبعاثات غير المرتبطة بالاحتراق بما في ذلك الفاقد التبخيري من المركبات (باستثناء انبعاثات التزود بالوقود في محطات الخدمة، والتي يتم تغطيتها تحت عنوان «الانبعاثات سريعة التبخر» في القسم 2-5)، وتآكل الإطارات / الفرامل وتآكل الطريق. تشمل أنشطة النقل التي يغطيها هذا القسم الشحن والطيران وكذلك النقل البري. ويشمل الأخير سيارات الركاب والمركبات التجارية الخفيفة (<3.5 طن) مثل شاحنات النقل والشاحنات الصغيرة والمركبات الثقيلة (> 3.5 طن).

2.1.1.1. صناعات الطاقة

تشمل صناعات الطاقة إنتاج الطاقة (أي تحويل الطاقة) أو استخراج الوقود الأحفوري. إن جميع صناعات الطاقة هي مصادر محتملة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة NMVOC، وNH_3، وPM_{10}، و$PM_{2.5}$.

2.1.1.1.1. انتاج الطاقة الكهربائية

بشكل عام، يشمل الانبعاثات من أجهزة الاحتراق الأكبر (السعة الإسمية >50 ميغاواط) التي تولد الكهرباء أو تنتج الحرارة للبيع العام. تعتبر الانبعاثات من محطات الاحتراق لإنتاج الكهرباء العامة مصادر ثابتة. قد تكون محطات الطاقة أو المرافق مملوكة ملكية عامة أو خاصة. يتم إطلاق الانبعاثات من خلال عملية احتراق مسيطر عليها (على سبيل المثال في مراجل بخارية أو فرن أو توربين غازي أو محرك ثابت) ويتم توصيفها بشكل أساسي حسب أنواع الوقود المستخدمة. يمكن توصيفها أيضًا وفقًا لحجم ونوع المنشآت بالإضافة إلى تدابير تقليل الانبعاثات الأولية أو الثانوية.

لا يتم تضمين الانبعاثات من المنشآت ذاتية الانتاج التي تولد الكهرباء و/أو التدفئة، كليًا أو جزئيًا لاستخداماتها الخاصة. يتم التطرق الى هذه الانبعاثات في القسمين 2.1.1.2. و2.1.1.6.

تتوفر الأساليب والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من صناعات إنتاج الكهرباء العامة في دليل انبعاثات ملوثات الهواء في دليل EMEP/EEA التسميات الخاصة بتقرير (NFR الفقرة 1.A.1.a.).

2.1.1.1.2. تكرير البترول

يغطي هذا النشاط الانبعاثات الصادرة من عمليات الإنتاج والاحتراق داخل مصفاة التكرير. وتشمل عمليات الاحتراق تسخين النفط الخام والمنتجات البترولية دون ملامسة اللهب. ويشمل وقود الاحتراق أنواعًا إضافية من الوقود مثل غاز التكرير.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات الاحتراق من تكرير البترول في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في دليل EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.1.b.) يتم تناول الانبعاثات المتعلقة بعملية التكرير في الفقرة 2.1.2.

2.1.1.1.2. تصنيع الوقود الصلب وصناعات الطاقة الاخرى

تستخدم جميع الانبعاثات الناتجة عن احتراق الوقود أثناء تصنيع المنتجات الثانوية أو الثالثية من الوقود الصلب. يشمل ذلك الانبعاثات من إنتاج فحم الكوك (من الفحم الصلب في أفران فحم الكوك وإنتاج الغاز)، وقوالب الفحم البني (من الفحم البني أو فحم الليغنيت)، والوقود المرخص (من الفحم الصلب) والفحم الحجري (من الخشب). كما يتم تضمين انبعاثات الاحتراق من استخدام الطاقة (في الموقع) في تعدين الفحم واستخراج النفط والغاز.

تتوفر الأساليب والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن تصنيع الوقود الصلب وصناعات الطاقة الأخرى في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في دليل EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.1.c.).

2.1.1.2. الصناعات التحويلية والإنشاءات

تشمل مجموعة متنوعة من الأنشطة مثل الاحتراق في المراجل والتوربينات الغازية والمحركات الثابتة وأفران الجبس والأفران الأخرى، في إنتاج الاسمنت والجير والأسفلت والزجاج والصوف المعدني والمواد الخزفية الدقيقة والمينا وكذلك آليات الصناعة المتنقلة، وهنا يتم تضمين الانبعاثات المتعلقة بالاحتراق فقط. أما الانبعاثات المرتبطة بعمليات أخرى، فيتم تناولها في المواضيع ذات الصلة في الفقرة 2-2.

تشمل الأنشطة ذات الصلة ما يلي:

1. تصنيع الحديد والصلب: تحدث انبعاثات الاحتراق من تصنيع الحديد والصلب من خلال عمليات تشمل إنتاج فحم الكوك المعدني، وإنتاج اللبيدات، وإنتاج الحبيبات، ومعالجة خام الحديد، وصناعة الحديد، وصناعة الفولاذ، وصب الفولاذ، والاحتراق في الأفران العالية وغازات فرن الكوك وغيرها. قد تحدث العمليات الرئيسية في منشأة «متكاملة» تشتمل على أفران صهر وأفران أكسجين قاعدي لصناعة الصلب أو - في بعض الحالات- أفران موقد مفتوحة.

2. المعادن غير الحديدية: تشمل عمليات إنتاج المعادن الأولية حيث يكون الاحتراق وثيق الصلة بالإنتاج الأولي للعديد من المعادن. يعتبر استخدام فحم الكوك وثاني أكسيد الكربون والكربونيل وثيق الصلة بالعديد من خطوط الإنتاج. تستخدم أنشطة الاحتراق أيضًا في أفران الصهر والصب والمعالجة الحرارية. يُعدّ استخدام أفران الصهر لاستعادة الخردة والتنقية اللاحقة نموذجيًا للعديد من أنشطة استعادة المعادن الثانوية.

3. تصنيع الإسمنت: يمكن إنتاج الإسمنت البورتلاندي إما عن طريق العمليات الجافة أو الرطبة (هناك أيضًا عمليات شبه جافة وشبه رطبة). يحدث الاحتراق في الفرن الرئيسي وفي فرن التكليس الأولي.

4. تصنيع الجير: يتم تسخين الجير في فرن لإزالة الكربونات (الكلس). هناك نوعان رئيسيان من الأفران المستخدمة: الأفران الرأسية والأفران الدوارة.

5. تصنيع الأسفلت: الاحتراق في مصنع الاسفلت يرتبط بشكل أساسي بتجفيف الركام، عادة في مُجفف دوار.

6. صناعة الزجاج: يحدث الاحتراق عند ذوبان الزجاج في الفرن وعمليات المعالجة اللاحقة.

7. الصوف المعدني: يتم في صناعة الصوف المعدني تصنيع ألياف الصوف الزجاجي والحجري من الزجاج المصهور، ويتم رش مادة رابطة كيميائية في نفس الوقت على الألياف أثناء تكوينها.

8. تصنيع المينا: يتم تحضير المينا عن طريق صهر العديد من المعادن في فرن الصهر ثم إخماد المادة المنصهرة بسرعة.

9. تصنيع الأغذية والمشروبات والتبغ: تنتج العديد من عمليات انتاج الأغذية والمشروبات البخار الخاص بها في واحد أو أكثر من المراجل الصناعية التي تحرق الوقود الأحفوري و/ أو الوقود العضوي.

10. صناعة البناء وصناعة الطوب: في صناعة الطوب والبلاط، يتم تجفيف الطين المشكل ثم حرقه عند درجة حرارة عالية في الفرن. كما يتم إجراء عمليات احتراق مختلفة في صناعة السيراميك.

11. تصنيع المواد الكيميائية والبتروكيماويات: يتراوح الاحتراق في قطاع المواد الكيميائية من الوقود التقليدي في مصانع الغلايات (المراجل) واستعادة المنتجات الثانوية للعملية باستخدام المؤكسدات الحرارية إلى أنشطة الاحتراق الخاصة بالعملية (مثل الأكسدة التحفيزية لـ NH_3 أثناء تصنيع حامض النيتريك).

12. صناعة الورق: يتطلب إنتاج الورق كميات كبيرة من البخار والطاقة. تنتج معظم مصانع الورق البخار الخاص بها في واحد أو أكثر من المراجل الصناعية أو وحدات الحرارة والطاقة المدمجة التي تحرق الوقود الأحفوري و/أو بقايا الخشب. تتضمن صناعة عجينة الخشب مواد كيميائية (على سبيل المثال، كرافت، كبريتيت، صودا، شبه كيميائية) يتم فيها حرق سائل الاستخلاص المستهلك في وحدة الاحتراق، على سبيل المثال فرن استرجاع الكرافت، لاستعادة الكيماويات من أجل إعادة استخدامها لاحقًا. هذه الوحدات قادرة أيضًا على توفير البخار اللازم للعملية والطاقة لعمليات الطحن.

13. التعدين (باستثناء مناجم الفحم) واستغلال المحاجر: تشمل التقنيات الاساسية المفترضة لهذا المصدر تفجير ونقل وسحق المواد. وتعتمد انبعاثات الملوثات على انبعاثات احتراق الوقود في المحجر وفي المصنع (الحفارات، الكسارات المتنقلة، الغرابيل المتنقلة، المولدات الكهربائية، إلخ) أو آلات النقل (شاحنات التحميل، عربات النقل، الرافعات، إلخ).

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من الاحتراق الثابت في الصناعات التحويلية وأعمال الإنشاءات في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في دليل EMEP/EEA (NFR الفقرة A.2.a.1.).

2.1.1.3. النقل البري

2.1.1.3.1. انبعاثات العادم

تنشأ انبعاثات العادم من احتراق الوقود مثل البنزين والديزل وغاز البترول المسال والغاز الطبيعي في محركات الاحتراق الداخلي. تشتعل شحنة الهواء / الوقود بواسطة شرارة (محركات «الاشتعال بالشرارة» أو «الاشتعال الإيجابي»)، أو قد تشتعل تلقائيًا بزيادة الضغط (محركات «الاشتعال بالضغط»).
من أهم الملوثات المنبعثة من مركبات الطرق ما يلي:

1. سلائف الاوزون (CO, NO_x, NMVOCs)
2. غازات الاحتباس الحراري (CO_2, CH_4, N_2O)
3. الحوامض / المواد القلوية (NH_3، SO_2)
4. الجسيمات العالقة بما في ذلك الكربون الاسود والكربون العضوي
5. الملوثات المسببة للسرطان والملوثات السامة (PAHs وPOPs)
6. المعادن الثقيلة

تأتي انبعاثات العادم من النقل البري من سيارات الركاب والمركبات التجارية الخفيفة والمركبات الثقيلة والحافلات والدراجات البخارية والنارية.

1. سيارات الركاب هي مركبات تستخدم لنقل الركاب ولا تزيد عن ثمانية مقاعد بالإضافة إلى مقعد السائق.

2. المركبات التجارية الخفيفة: هي مركبات تستخدم لنقل البضائع ولا يزيد وزنها عن 3.5 طن.

3. المركبات والحافلات الثقيلة: تشمل المركبات المستخدمة لنقل البضائع والتي يزيد وزنها عن 3.5 طن ولا يتجاوز 12 طناً، والمركبات المستخدمة لنقل البضائع التي يتجاوز وزنها الأقصى 12 طناً، والمركبات المستخدمة في نقل الركاب وتتكون من أكثر من ثمانية مقاعد بالإضافة إلى مقعد السائق وبوزن أقصاه 5 أطنان، والمركبات المستخدمة لنقل الركاب وتتسع لأكثر من ثمانية مقاعد بالإضافة إلى مقعد السائق وذات وزن يتجاوز 5 طن.

4. الدراجات البخارية والدراجات النارية ذات محرك ثنائي او رباعي الأشواط، وسيارات صغيرة.

تُستخدم محركات البنزين (وغيره من محركات الاشتعال بالشرارة) في المركبات الصغيرة التي يصل وزنها الإجمالي إلى 3.5 طن، ويرجع ذلك أساسًا إلى نسبة الطاقة الفائقة إلى الوزن ونطاقها التشغيلي الأوسع مقارنة بمحركات الديزل، كذلك لأسباب اخرى مثل انخفاض الضوضاء والتشغيل الأكثر سلاسة. تهيمن محركات الديزل (وغيرها من محركات الاشتعال بالضغط) على استخدامات نقل الأحمال الثقيلة نظرًا لكفاءتها العالية في استهلاك الوقود وعزم الدوران مقارنة بمحركات البنزين.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات العادم من النقل البري في دليل EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.3.b.i لسيارات الركاب، 1.A.3.b.ii للمركبات التجارية الخفيفة، 1.A.3.b.iii للمركبات الثقيلة والحافلات، و1.A.3.b.iv. للدراجات البخارية).

2.1.1.3.2. تبخر البنزين

تشير انبعاثات التبخر إلى مجموع انبعاثات NMVOC المرتبطة بالوقود وغير الناتجة عن احتراق الوقود. وفي المركبات الحالية، يتم التحكم في الانبعاثات التبخرية عن طريق انبوبة الكربون المنشط المتصلة بخزان الوقود، حيث تمتص الانبوبة بخار الوقود المتسرب من الخزان.

تنبعث معظم الانبعاثات التبخرية للمركبات العضوية المتطايرة من أنظمة الوقود (الخزانات وأنظمة الحقن وخطوط الوقود) للمركبات التي تعمل بالبنزين. وتعتبر الانبعاثات التبخرية من مركبات الديزل ضئيلة للغاية بسبب وجود هيدروكربونات أثقل وضغط بخار منخفض نسبيًا لوقود الديزل ويمكن إهمالها في الحسابات.

فيما يلي أهم مصادر الانبعاثات التبخرية من السيارات:

1. تنفيس الخزان، والذي يعود إلى تبخر الوقود في الخزان نتيجة للتغير الطبيعي في درجات الحرارة اليومية.

2. تسرب الوقود، تشير العديد من الدراسات إلى أن تسرب الوقود السائل وتغلغله من خلال المكونات البلاستيكية والمطاطية لنظام التحكم في الوقود والبخار يساهم بشكل كبير في إجمالي انبعاثات التبخر.

عند نمذجة الانبعاثات التبخرية بسبب فقد التنفيس وتسرب الوقود، يتم عادةً النظر في ثلاث آليات منفصلة:
1. الانبعاثات اليومية
2. الفقدان المستمر
3. انبعاثات السائل الساخنة

يحدث تبخر البنزين أيضًا أثناء توصيل الوقود إلى محطات الخدمة وإعادة تزويد المركبات بالوقود. تم وصف هذه العمليات في القسم 2-5-3.

انخفضت مساهمة انبعاثات التبخر من إجمالي انبعاثات NMVOC في النقل البري بشكل كبير منذ إدخال أنابيب الكربون. وترجع الفروق الملحوظة في الانبعاثات التبخرية في مختلف البلدان إلى التأثيرات المجتمعة لدرجات الحرارة المحيطة (الحد الأدنى والأقصى)، وتطاير الوقود المستخدم، واستخدام السيارة (الأميال المقطوعة سنويا)، ومزيج التكنولوجيا (نسبة المركبات القديمة بدون أنبوبة الكربون) وكذلك جزء مركبات الديزل في أسطول السيارات الوطني.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات التبخر من النقل البري تحت دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.3.b.iiv.).

تعتبر الإطارات والفرامل وتآكل سطح الطريق عمليات تآكل وليست عمليات احتراق وهي مصادر لانبعاثات الجسيمات بما في ذلك الكربون الاسود. ينصب التركيز هنا على الجسيمات الأولية، أي تلك الجسيمات المنبعثة مباشرة نتيجة تآكل الأسطح - وليس تلك الناتجة عن إعادة تعليق المواد المترسبة سابقًا.

يتم إنتاج الجزيئات المحمولة جواً نتيجة للتفاعل بين إطارات السيارة وسطح الطريق، وأيضًا عند استخدام الفرامل لإبطاء سرعة السيارة. في كلتا الحالتين، فإن توليد قوى القص بالحركة النسبية للأسطح هو الآلية الرئيسية لإنتاج الجسيمات. تتضمن الآلية الثانوية تبخر المواد من الأسطح عند درجات الحرارة العالية التي تنشأ أثناء التلامس.

الجسيمات الناتجة عن تآكل الاطارات

تنبعث مواد تآكل الإطارات ضمن نطاق الحجم الكامل للجزيئات المحمولة جواً. لا تنتقل الجسيمات الأثقل في الهواء، وتكون أهميتها في تلوث الهواء محدودة، ولكنها تساهم بأكبر جزء من حيث الوزن من إجمالي تآكل الإطارات. لقد وجدت دراسة أن جزيئات نفايات الإطارات على جانب الطريق الأقل من 100 ميكرومتر يبلغ متوسط قطرها 65 ميكرومترًا للسيارات و80 ميكرومترًا للشاحنات. تحتوي جزيئات الإطارات على ما يقدر بـ 29٪ من الكربون الأولي و58٪ من المواد العضوية، والزنك هو المعدن الأكثر وفرة. يختلف توزيع الحجم الكتلي المرجح في دراسات مختلفة، وليس من السهل وضع قيم عامة ثابتة.

الجسيمات الناتجة عن استخدام الفرامل

كما هو الحال مع تآكل الإطارات، لن تكون جميع الانبعاثات الناتجة عن تآكل الفرامل بشكل جسيمات محمولة جواً، وعلى الرغم من أن هذا النوع من الانبعاثات يبدو أكثر نسبيًا في حالة الفرامل، ونسبة كبيرة منها بحجم 2.5 ماكروميتر. مع ذلك، لا يزال هناك قدر كبير من التغاير في الكتلة الكلية الناتجة عن التآكل والتي يفترض ان تكون محمولة في الهواء. وفيما يتعلق بالتركيب الكيميائي، تعتمد مادة تآكل الفرامل إلى حد كبير على الشركة المصنعة والتطبيق (السيارة والشاحنة وما إلى ذلك) والخصائص المرغوبة لوسادات الفرامل. من المتوقع أن تتكون الوسادات بشكل أساسي من معادن مرتبطة مع مواد أساسها السيليكون. لقد ثبت أن الحديد يساهم بنسبة تصل إلى 46٪، والنحاس حتى 14٪، والكربون العضوي بحوالي 13٪، يليه العديد من المعادن الأخرى، بما في ذلك الرصاص (~ 4٪)، والزنك (~ 2٪)، والكالسيوم والباريوم.

الجسيمات الناتجة من تآكل سطح الطريق

يُعتبر تحديد عوامل الانبعاث لجزيئات تآكل سطح الطريق أكثر صعوبة من تحديد تلك الخاصة بتآكل الإطارات والمكابح، ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن التركيب الكيميائي للقار معقد جدًا إذا ما قيس باستخدام توازن الكتلة الكيميائية ونمذجة المستقبلات، ويرجع كذلك إلى اختلاط جزيئات التآكل الأولية بغبار الطريق والمواد المتطايرة.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات تآكل الطرق والإطارات والمكابح من النقل البري في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (الفقرة 1.A.3.b.vi. لانبعاثات إطارات السيارات والفرامل، والفقرة 1.A.3.b.vii لتآكل سطح الطريق في NFR).

2.1.1.4. الملاحة البحرية

تكون الانبعاثات الناتجة عن الملاحة نتيجة احتراق الوقود في محرك الاحتراق الداخلي. وبالتالي، فإن الملوثات الرئيسية هي أحادي أكسيد الكربون والمركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين والجسيمات (بما في ذلك الكربون الاسود) والتي تتعلق بشكل أساسي بتكنولوجيا المحرك وCO_2 وSO_x والمعادن الثقيلة والجسيمات العالقة (المشتقة بشكل أساسي من الكبريتات) التي تعتمد على نوع الوقود.

وتشمل الملاحة كلا من الملاحة البحرية الدولية، والملاحة الدولية الداخلية، والملاحة المحلية (الشحن)، والصيد المحلي، والملاحة العسكرية (الشحن)، والقوارب الترفيهية. وتعتمد معايير التمييز بين الملاحة المحلية والدولية فقط على منطلق ووجهة السفينة لكل جزء من رحلتها (المغادرة والوصول إلى نفس البلد (محلي) أو المغادرة من بلد والوصول إلى آخر (دولي).

ويجب التمييز بين الدولي / المحلي على أساس ميناء المغادرة وميناء الوصول، وليس على أساس علم السفينة أو جنسيتها. تغطي الملاحة المحلية جميع وسائل النقل التي تنقلها المياه من القوارب الترفيهية إلى سفن الشحن الكبيرة العابرة للمحيطات والتي يتم تشغيلها بشكل أساسي بواسطة محركات ديزل عالية السرعة وبطيئة ومتوسطة السرعة وأحيانًا عن طريق التوربينات البخارية أو الغازية.

وهي تشمل الحوامات والقوارب المائية. وتتسبب الملاحة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز، فضلاً عن أحادي أكسيد الكربون والميثان وNMVOCs وثاني أكسيد الكبريت والجسيمات العالقة وأكاسيد النيتروجين. ويتعين على البلدان التي لديها ملاحة محلية أن تحدد كمية الانبعاثات الناتجة عنها داخل حدودها. على أية حال، فإن الملاحة الدولية لا يتم تضمينها عادة في قوائم الجرد الوطنية. فيما يتعلق بمجلس التعاون لدول الخليج العربية، فقد يكون من المهم تضمين الملاحة الدولية بين دول مجلس التعاون في قائمة الجرد الإقليمية.

يتم جمع البيانات المتعلقة بحركات الشحن على أساس مقاطع الرحلة الفردية (من احدى المغادرات إلى وصول تالي) ولا يتم التمييز بين أنواع مختلفة من التوقفات الوسيطة. ويعتبر التمييز على أساس بيانات المقطع الفردي أسهل من احتساب الرحلة الكاملة، ومن المرجح أن يقلل من قلة الدقة. كذلك من المستبعد جدًا أن يكون لذلك أي تأثير كبير على تقديرات الانبعاثات الإجمالية.

تنشأ انبعاثات العادم من الملاحة من كل من محركات الدفع الرئيسية والمحركات المساعدة المستخدمة لتوفير الطاقة والخدمات داخل السفن وتعتمد على نوع المحرك:

1. محركات ديزل بطيئة السرعة: تصل سرعتها القصوى إلى 300 دورة / دقيقة، على الرغم من أن معظمها يعمل بسرعات 80-140 دورة / دقيقة.

2. محركات الديزل متوسطة السرعة: يستخدم هذا المصطلح لوصف محركات الديزل البحرية ذات سرعة تشغيل قصوى في حدود 300-900 دورة / دقيقة.

3. محركات الديزل عالية السرعة: يصف هذا محركات الديزل البحرية ذات سرعة تشغيل قصوى تزيد عن 900 دورة / دقيقة. تكون عادة أصغر من محركات الديزل متوسطة السرعة أو أكبر من محركات مركبات الشاحنات على الطرق؛ يتم استخدامها في السفن الصغيرة وغالبًا ما تكون مصدرًا للطاقة الإحتياطية على متن السفن.

4. التوربينات البخارية: استخدمت هذه المحركات البخارية الترددية في أوائل القرن العشرين، تم استبدالها فيما بعد بمحركات ديزل أكثر كفاءة وأقل تكلفة في التشغيل. يتم تغذية سفن التوربينات البخارية في الغالب بزيت الوقود بدلاً من الوقود الخفيف.

5. توربينات الغاز: في حين أن هذا النوع من المحركات استخدم على نطاق واسع في السفن الحربية، إلا أنه يتم استخدامها حاليا بنسبة صغيرة جدًا في الأسطول التجاري، وغالبًا مع محركات الديزل.

بالإضافة إلى تصنيفها إلى خمسة أنواع من المحركات، يمكن تقسيم المحركات البحرية إلى تصنيفات أخرى وفقًا لوقودها الأساسي: زيت وقود السفن أو زيت الديزل البحري أو زيت الغاز البحري. تعتمد بعض الانبعاثات (على سبيل المثال أكاسيد الكبريت والمعادن الثقيلة) في الغالب على الوقود بدلاً من اعتمادها على نوع المحرك. وبالتالي، فإن معرفة الوقود المستخدم يؤثر بشكل كبير على تقديرات الانبعاثات بالإضافة إلى نوع المحرك الذي يتم استخدامه.

تتوفر الأساليب والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات الملاحة في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (NFR الفقرات 1.A.3.d.i(i), 1.A.3.d.i(ii), 1.A.3.d.ii, 1.A.4.c.ii and 1.A.5.b).

2.1.1.5. الطيران

تشمل الانبعاثات من الطيران انبعاثات الاحتراق من المصادر التي ترتبط بحركة الأشخاص و/أو الشحن عن طريق الجو. تشمل الأنشطة الطيران الدولي والطيران المحلي. يشمل الطيران الدولي حركة المطارات الدولية دورات LTO (دورات الهبوط والإقلاع ≥3000 قدم (914.4 م))، وحركة الرحلات الجوية الدولية (>3000 قدم (914.4 م)). ويشمل الطيران المحلي حركة المطارات المحلية (دورات الهبوط والإقلاع ≥3000 قدم (914.4 م))، وحركة الرحلات الجوية المحلية (> 3000 قدم (914.4 م)). ويجب التمييز بين الحركة الجوية الدولية والمحلية على أساس مواقع المغادرة والهبوط لكل مرحلة من مراحل الرحلة وليس على أساس جنسية شركة الطيران.

يتم تصنيف انبعاثات عوادم الطيران على أنها «دولية» أو «محلية» اعتمادًا على ما إذا كان مطار الوصول في نفس بلد مطار المغادرة أم لا. تأتي الملوثات الناتجة عن الطيران بشكل أساسي من احتراق وقود الطائرات وبنزين الطائرات (يستخدم الأخير كوقود فقط في الطائرات الصغيرة والمروحيات المجهزة بمحركات مكبسية). إن أنواع الانبعاثات الرئيسية المنتجة هي CO_2، NO_x، بخار الماء، CH_4، H_2O، NMVOCs، SO_x، CO والجسيمات العالقة. ويتعين على البلدان التي لديها طيران محلي أن تحدد كمية انبعاثاتها داخل حدودها من حيث حركة المطارات وحركة الرحلات الجوية. ومع ذلك، لا يتم تضمين حركة الرحلات الجوية الدولية عادة في قوائم الجرد الوطنية. وإذا كان ذلك مناسبًا لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، فقد يكون من المثير للاهتمام إدراج حركة الرحلات الجوية الدولية بين دول مجلس التعاون في قائمة الجرد الإقليمية.

إن الأنواع الرئيسية لمحركات الطائرات هي المحركات الترددية (المكبسية) والمحركات التوربينية الغازية. يستخدم المحرك الترددي (المكبس) آليات المكبس والكرنك لاستخراج الطاقة من الوقود المحترق في غرفة الاحتراق. وهذا يدفع المراوح لإعطاء الزخم للطائرة. بينما يعمل المحرك التوربيني الغازي على ضغط الهواء قبل حرق الوقود في غرفة الاحتراق، وبالتالي تسخينه. يتم استخدام الجزء الأكبر من الطاقة المنتجة لدفع الطائرة، بينما يتم استخدام جزء ثانوي لدفع التوربينات التي تقود الضاغط. هناك ثلاثة أنواع رئيسية من المحركات التوربينية الغازية: المحركات النفاثة، والتي تشمل المحركات التوربينية النفاثة والمحركات التوربينية؛ محركات توربينية؛ ومحركات العمود التوربيني. تتضمن رحلة الطائرة النموذجية عدة مراحل من الرحلة: الشروع بالحركة، والإقلاع، والشروع بالصعود، والارتفاع، والطواف، والنزول، والاقتراب النهائي، والهبوط، والحركة البطيئة لحين التوقف. تبدأ «حركة الطيران» عندما تبدأ الطائرة في الخروج من المطار وتنتهي عندما تتوقف الطائرة عن الحركة.

تأتي انبعاثات العادم من الطائرات من احتراق وقود الطائرات وبنزين الطائرات، وتنشأ خلال جميع الأنشطة المتعلقة بحركة الطيران ويمكن تصنيفها ضمن مجموعات من الأنشطة: أنشطة ما قبل المغادرة؛ أنشطة المغادرة؛ أنشطة CCD (الصعود، الطواف، النزول)؛ أنشطة الطوارئ؛ أنشطة الوصول؛ أنشطة ما بعد الوصول؛ وأنشطة الصيانة. ومن بين هذه الأنشطة، فإن الأنشطة الرئيسية الثلاثة التي تتضمن الاستهلاك الاكبر للوقود وتسبب الانبعاثات هي أنشطة المغادرة وأنشطة (الصعود، الطواف، النزول) وأنشطة الوصول. وبالنسبة لجميع أنواع المحركات وفئات حركة الطيران، فإن حسابات الانبعاثات لمعدلات النشاط تتضمن دورات الهبوط والاقلاع.

هناك أربع فئات من تحركات الرحلات الجوية التي يجب تضمينها في أنشطة جرد الطيران في بلد ما:

الفئة 1 - قواعد الطيران المدني (IFR) للرحلات الجوية. هذه هي الفئة التي تنشأ منها معظم الانبعاثات. غالبًا ما يتم تسجيل بيانات حركة الطيران لهذه الفئة من الطائرات، وتعتبر طرق تقدير كمية حرق الوقود والانبعاثات الناتجة عن هذه الفئة مناسبة تمامًا. يمكن تصنيف الطائرات في الفئة 1 وفقًا لنوع المحرك المجهز به: نفاث توربيني أو محرك توربيني أو مكبس.

الفئة 2 - قواعد الطيران البصري المدني (VFR) للرحلات الجوية. هذه الفئة، التي تسمى أيضًا الطيران العام، تتعلق بالطائرات الصغيرة المستخدمة للترفيه، والزراعة، ورحلات طائرات الأجرة، وما إلى ذلك. وتكون الطائرات المستخدمة لرحلات الطيران البصري المدني VFR مجهزة بشكل عام بمحركات توربينية أو مكبسية.

الفئة 3 - مروحيات مدنية (هليكوبتر). هذه الفئة تتعلق بجميع أنواع الطائرات العمودية. غالبًا ما يتم تشغيل طائرات الهليكوبتر تحت فئة VFR ونادرًا ما يتم تشغيلها تحت فئة IFR. لذلك، قد يكون من الصعب جمع معلومات دقيقة عن تحركات طائرات الهليكوبتر في بلد ما. في الوقت الحاضر، تستخدم معظم طائرات الهليكوبتر المحركات ذات العمود التوربيني لتشغيل دواراتها، لكن بعض طائرات الهليكوبتر الصغيرة لا تزال تستخدم المحركات المكبسية.

الفئة 4 - الرحلات العسكرية التشغيلية. قد تكون هناك بعض الصعوبات في تقدير هذه الأنشطة بسبب ندرة البيانات العسكرية وغالبًا ما تكون سرية. وقد يتم تضمين بعض تحركات الطائرات العسكرية، مثل الأنشطة غير التشغيلية، في الفئة 1.

تتوفر الأساليب والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات الطيران في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.3.a.).

2.1.1.6. القطاعات الاخرى

2.1.1.6.1. المصادر المتحركة

يغطي هذا القسم مجموعة من المعدات الموزعة ضمن مجموعة واسعة من قطاعات الصناعة، وعادة ما تكون أرضية، ويشار إليها بشكل جماعي باسم الآلات المتنقلة غير البرية (NRMM).

وبالنسبة لجميع هذه الأنواع من المعدات، تنشأ انبعاثات العادم للآلات المتنقلة غير البرية من احتراق الديزل والبنزين وغاز البترول المسال لتشغيل المعدات. بالنسبة للعديد من البلدان، تكون مساهمة الآلات المتنقلة غير البرية في إجمالي الانبعاثات الوطنية صغيرة، أي أن المصادر الفردية ليست مصادر رئيسية. ومع ذلك، فإن المساهمات من بعض القطاعات في مخزونات بعض الدول قد تكون ذات أهمية متوسطة. تشمل أنواع الملوثات الأكثر أهمية: SO_2 وNO_x وCO_2 وPM وCO وNMVOCs، مع الأهمية النسبية للأنواع اعتمادًا على نوع المحرك (اشتعال الديزل تحت الضغط أو اشتعال شرارة البنزين)، ونوع المعدات. تعتمد المنهجية المستخدمة لتقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت في الغالب على الوقود، وبالتالي فهي مستقلة عن تقنية المحرك / نوع المعدات.

تشتمل المحركات المستخدمة في هذه المصادر المتنقلة على:

1. محركات الديزل، وتتراوح من محركات الديزل الكبيرة التي يزيد وزنها عن 200 كيلوواط (مثبتة في الرافعات، وممهدات الصفوف / الكاشطات، والجرافات، وما إلى ذلك) إلى محركات الديزل الصغيرة، التي تبلغ حوالي 5 كيلوواط، والمجهزة بالمعدات المنزلية ومعدات البستنة (مثل جرارات العشب والحدائق، ومنفاخ الأوراق، إلخ).

2. المحركات التي تعمل بالبنزين، وجميعها تقريبًا ذات قدرة أقل، تكون عادةً أقل من 10 كيلوواط، وتستخدم بشكل أساسي في المعدات المنزلية والبستنة، مع عدد صغير يستخدم في الصناعة (على سبيل المثال لتشغيل شاحنات الرافعة الشوكية أو مجموعات المولدات الكهربائية الصغيرة). وعادة ما تكون محركات البنزين ثنائية الأشواط أصغر من المحركات رباعية الأشواط. يوجد وصف المعدات المستخدمة في كل تطبيق بمزيد من التفصيل.

3. محركات غاز البترول المسال: تستخدم في محركات البنزين ثنائية ورباعية الأشواط كوقود بديل، أي لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تكنولوجيا المحرك أو تصميمه. إن السبب الأكثر شيوعًا لاستخدام غاز البترول المسال بدلاً من البنزين هو التكلفة، ولكن يمكن أن تكون مشكلات جودة الهواء أيضًا أحد الاعتبارات المهمة.

بالإضافة إلى التصنيف حسب الوقود، هناك تصنيف مهم وهو تصنيف المحركات إلى محركات سرعة متغيرة وثابتة. ومع ذلك، قد يكون من الصعب الحصول على معلومات تسمح بتصنيف أسطول الآلات بهذه الطريقة:

1. محركات السرعة الثابتة هي بشكل أساسي تلك المستخدمة في مجموعات المولدات، حيث تنتج طاقة كهربائية بتردد ثابت عن طريق تشغيل المولد بسرعة ثابتة. من المحتمل أن تكون مهمة، على سبيل المثال تمثل 25 ٪ من استهلاك الديزل (زيت الغاز) للآليات المتنقلة غير البرية في المملكة المتحدة.

2. تستخدم المحركات المتغيرة السرعة في معظم أنواع المعدات، بما في ذلك الجرارات الزراعية والحفارات وغيرها، حيث تختلف سرعة المحرك وفقًا للمهمة التي يتم القيام بها.

يُعدّ التمييز بين هذين النوعين من المحركات أمرًا مهمًا لأن معايير الانبعاث التي يجب أن تمتثل لها الآلات تختلف بين الآليات ثابتة ومتغيرة السرعة. ومن أجل التعرف على المركبات والآلات التي يتم التعامل معها، من المفيد معرفة أنواع المركبات والآلات المستخدمة بالإضافة إلى أنواع المحركات التي تستخدمها الآلات.

في الزراعة والغابات:

1. الجرارات ذات العجلتين: جرارات صغيرة جدًا أحادية المحور / ذات عجلتين بقدرة إنتاج قليلة (حوالي 5 إلى 15 كيلوواط) ومجهزة بمحرك بنزين أو ديزل ثنائي الأشواط أو رباعي الأشواط.

2. الجرارات الزراعية: الجرارات ذات المحورين / الرباعية العجلات (هناك أيضًا بعض الجرارات ذات العجلات المفصلية والجرارات من النوع الزاحف التي تندرج تحت هذه الفئة) تعمل كلها تقريبًا بمحركات تعمل بالديزل بطاقة إنتاجية تتراوح من 20 إلى 250 كيلوواط. إن نطاق الطاقة الرئيسي المستخدم للأغراض الزراعية هو 100-130 كيلوواط، ويتم استخدام جرار ثانٍ لمرافقة الاول ويكون عادةً أصغر، حيث يبلغ معدل استهلاك الطاقة من 20-60 كيلو واط. وفي مجال الغابات، يتم استخدام نفس الجرارات المستخدمة في الزراعة، حيث يبلغ نطاق الطاقة حوالي 60-120 كيلوواط. بشكل عام، كان هناك اتجاه واضح خلال الثلاثين عامًا الماضية نحو استخدام مولدات طاقة أعلى ونحو استخدام الجرارات ذات الدفع الرباعي. تم تجهيز محركات الديزل الأكبر حجمًا ذات الأربع والست أسطوانات بشواحن توربينية. ومع ذلك، بالنسبة لأنشطة زراعية معينة، لا تزال الجرارات الصغيرة مستخدمة (على سبيل المثال مزارع الكروم)، مع مولدات طاقة نموذجية من 30-50 كيلوواط.

3. الحصادات / المُجمعات: تستخدم بشكل أساسي في حصاد الحبوب (القش، البنجر، إلخ)، وجميعها مزودة بمحركات ديزل. تنتج الآلات القديمة طاقة تتراوح بين 50 و150 كيلو واط، بينما تكون الوحدات الحديثة أكبر عادةً، حيث يصل تزويد الطاقة إلى 500 كيلو واط.

4. المرشات، موزعات السماد، جزازات الأعشاب، المكابس، الحراثة: تستخدم بشكل أساسي محركات الديزل، كذلك، محركات البنزين ثنائية ورباعية الأشواط تستخدم أيضًا في هذه الآلات. انتاج الطاقة في حدود 5-50 كيلو واط.

5. مناشير الجنزير المهنية (المناشير السلسلية): ذات محرك بنزين ثنائي الأشواط بطاقة إنتاجية تبلغ حوالي 2-6 kW.

6. جرارات الغابات / الحصادات / ماكينات الصقل: المركبات (مثل عربة التوجيه ذات العجلات، وجرافة التوجيه، وآلة نقل الأخشاب، وما إلى ذلك) المستخدمة في أعمال النقل العام والحصاد في الغابات. كلها معدات تعمل بمحركات ديزل بطاقة إنتاجية تبلغ حوالي 25-75 كيلو وات.

7. معدات مُجهِّزي الأشجار، وآلات النقل، وقاطعي الأشجار، ومزارعي الغابات، وآلات التقطيع، ومزارع جذوع الأشجار: في الأساس معدات بمحركات الديزل؛ يستخدم البعض محركات ثنائية الشوط.

في المنزل والبستنة:

1. آلات التشذيب / تقليم الاشجار / تقليم الحشائش: مجهزة بشكل أساسي بمحركات بنزين ثنائية الأشواط مع قدرة انتاج تبلغ حوالي 0.25-1.4 كيلو واط.

2. جزازات العشب: إما بمحرك بنزين ثنائي الأشواط أو رباعي الأشواط، بقدرة إنتاج تبلغ 0.5-5. كيلوواط جزازات الركوب في القطاع المحلي هي محركات ديزل أحادية أو ثنائية الأسطوانات ومحركات بنزين رباعية الأشواط. عادة ما تكون جزازات الاستخدام الاحترافي تعمل بالديزل أو بمحرك بنزين رباعي الأشواط. وتتميز الجزازات ذات الركوب بقدرة إنتاجية تبلغ حوالي 5-15 كيلو واط، مع إزاحة بين 100-250 سم مكعب.

3. المناشير السلسلية: تم تجهيز المناشير اليدوية بشكل أساسي بمحركات بنزين ثنائية الأشواط (يجب الحرص على عدم تضمين تلك التي تحتوي على محركات كهربائية). لمناشير المحرك الصغيرة (اليدوية) طاقة ناتجة تبلغ حوالي 1-2 كيلو واط (مناشير المحرك المستخدمة بشكل احترافي بحوالي 2-6 كيلو واط).

4. عربات الثلوج / سكيدو: مجهزة بشكل عام بمحركات بنزين ثنائية ورباعية الأشواط مع قدرة انتاج من 10-50 كيلو واط. خلال العقدين الماضيين، كان هناك توجه نحو آلات أقوى.

5. يتم شمول جزازات العشب والحدائق وآلات تقطيع الأخشاب وآلات الحراثة وآلات البستنة المماثلة تحت هذه الفئة.

6. المركبات غير المخصصة للطرق مثل المركبات الصالحة لجميع التضاريس كالمركبات الرباعية، والدراجات النارية على الطرق الوعرة، وعربات الغولف، وما إلى ذلك.

تنشأ الانبعاثات من احتراق الوقود في محركات الاحتراق بضغط الديزل أو محركات الاحتراق بالشرارة التي تعمل بالبنزين لتشغيل الماكينة. تعتبر أكاسيد النيتروجين، والجسيمات العالقة، واحادي أكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة وغير المتطايرة، وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون كلها من الأنواع المهمة المنبعثة من احتراق الوقود، وعادة ما يتم تقدير النوعين الأخيرين مباشرة من استخدام الوقود.

تختلف خصائص انبعاث محركات الديزل عن البنزين. بالمقارنة مع محركات البنزين (غنية الوقود)، تنتج محركات الديزل المزيد من الجسيمات وأكاسيد النيتروجين، وأقل CO وNMVOCs تختلف الانبعاثات أيضًا بين محركات البنزين ثنائية الأشواط ورباعية الأشواط، وعمر المعدات.

يمكن لجميع قطاعات المصادر التي تم تناولها في هذا الفصل أن تقدم مساهمات كبيرة في إجمالي انبعاثات أكاسيد النيتروجين أو PM_{10} أو NMVOC. تتراوح المساهمات من قطاع مصدر واحد بين 0.1-11٪ من إجمالي الانبعاثات ولكنها عادة ما تكون أقل من 5٪. تبدو القطاعات الرئيسية / القطاعات الفرعية التالية ذات أهمية قصوى بالنسبة للملوثات المختلفة:

1. بالنسبة لأكاسيد النيتروجين: الزراعة والانشاءات (جزء من «الصناعة»)
2. بالنسبة إلى الجسيمات العالقة: الزراعة والانشاءات (جزء من «الصناعة»)
3. بالنسبة لـ NMVOC : العشب والحديقة (جزء من «المنزل والبستنة»)
4. بالنسبة إلى احادي أكسيد الكربون: التجارة الخفيفة (جزء من «الصناعة») والعشب والحدائق (جزء من «المنزل والبستنة»)

عند مقارنة انبعاثات PM_{10} بانبعاثات $PM_{2.5}$ الأكثر سُمية من الناحية الفسيولوجية، بينما تظل الأنماط العامة ذات اهمية، فإن $PM_{2.5}$ المنبعثة من الآلات على الطرق الوعرة ذات أهمية أكبر من PM_{10}، وذلك لأن محركات الاحتراق الداخلي تنتج جسيمات دقيقة بمتوسط حجم أصغر بكثير، مثال ذلك العديد من العمليات الصناعية.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات NRMM في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (NFR الفقرات 1.A.2.gvii, 1.A.4.a.ii, 1.A.4.b ii, 1.A.4.c ii, 1.A.4.c iii, 1.A.5.b).

2.1.1.6.2. المصادر الثابتة

إن منشآت الاحتراق الصغيرة المدرجة في المصادر الثابتة مخصصة أساسًا للتدفئة وتوفير الماء الساخن في القطاعات السكنية والتجارية / المؤسسية. تمتد الأنشطة الثانوية إلى استخدام الأجهزة داخل القطاعات السكنية والتجارية للطهي. كما تستخدم في القطاع الزراعي الحرارة الناتجة عن منشآت الاحتراق في تجفيف المحاصيل وتدفئة البيوت الزجاجية.

إن الملوثات ذات الصلة هي SO_2 وNO_x CO NMVOCs PM BC HMs PAHs Fs / PCDD HCB. وبالنسبة للوقود الصلب، تكون الانبعاثات الناتجة عن الاحتراق غير الكامل أكبر بعدة مرات في الأجهزة الصغيرة منها في المصانع الأكبر. يحدث ذلك بشكل خاص في الأجهزة التي يتم تغذيتها يدويًا والتركيبات الأوتوماتيكية التي يتم التحكم فيها بشكل سيئ. أما بالنسبة لكل من الوقود الغازي والسائل، فإن انبعاثات الملوثات ليست أعلى بكثير مقارنة بالمراجل ذات الحجم الصناعي نظرًا لجودة الوقود وتصميم المواقد والمراجل، باستثناء المواقد التي تعمل بالوقود الغازي والسائل والأفران بسبب عملية الاحتراق البسيطة.

التدفئة المنزلية:

تستخدم أجهزة الاحتراق الصغيرة لتوفير الطاقة الحرارية للتدفئة والطهي في المباني السكنية. يتم استخدام مجموعة متنوعة من أنواع الوقود ويتم تطبيق العديد من تقنيات الاحتراق. في النشاطات المنزلية، تتميز أجهزة الاحتراق الصغيرة - خاصةً المواقد المنزلية القديمة- بتصميم بسيط للغاية، بينما تم تطوير بعض المواقد الحديثة بجميع السعات بشكل ملحوظ. تعتمد الانبعاثات بشدة على الوقود وتقنيات الاحتراق وكذلك على الممارسات التشغيلية والصيانة. بالنسبة لاحتراق الوقود السائل والغازي، تتشابه التقنيات المستخدمة هنا مع تلك المستخدمة في إنتاج الطاقة الحرارية في أنشطة الاحتراق الأكبر، باستثناء التصميم البسيط للأجهزة الصغيرة مثل المواقد والافران. تختلف تقنيات استخدام الوقود الصلب والوقود العضوي على نطاق واسع بسبب خصائص الوقود المختلفة والإمكانيات التقنية المتوفرة. تستخدم منشآت الاحتراق الصغيرة تقنية الاحتراق ذات القاعدة الثابتة (أي الاحتراق الشبكي للوقود الصلب). يشمل الوقود الصلب أنواعًا من الوقود الصلب المعدني والوقود العضوي ويتراوح حجم الوقود من بضع مليمترات إلى 300 ملم. قد يكون من المفيد التفكير في معدات الاحتراق المنزلية من حيث الأجهزة (المنتجات المصنعة) والمعدات الأساسية مثل مواقد الوقود الصلب «التقليدية».

1. المعدات الأساسية مثل المواقد التقليدية التي تعمل بالوقود الصلب والمداخن وحفلات الشواء: تتميز هذه المعدات بأنها «مفتوحة» وبالتالي لا تحتوي على أدوات تحكم في الهواء أو تكون محدودة للغاية. بالإضافة إلى ذلك، نظرًا لمعدلات الصيانة والاستبدال المنخفضة نسبيًا (للمباني والمعدات)، يمكن أن تكون المواقد المفتوحة التي تعمل بالوقود الصلب جزءًا مهمًا من مخزون التدفئة المنزلية. وعلى الرغم من أنه قد تكون هناك أجهزة تعمل بالزيت والغاز يمكن أن تنطبق عليها تسمية «المعدات الأساسية»، إلا أنه من الأنسب معاملتها كأجهزة. للمواقد المفتوحة انبعاثات كبيرة من PM وCO وNMVOC وPAH الناتجة عن الاحتراق غير الكامل للوقود. تشمل أنواع الوقود المستخدمة في المواقد المفتوحة التي تعمل بالوقود الصلب الأخشاب (جذوع الأشجار) والفحم والأنثراسايت وأنواع الوقود الصلب المصنعة. إن المداخن وحفلات الشواء (الأجهزة الخارجية) تحرق الخشب ووقود الفحم الصلب، وهي تختلف قليلا عن النوع الاول.

2. الأجهزة: وتشمل مدافئ الغرف (المواقد، والأجهزة الداخلية، والمواقد ذات التجهيز المنخفض للحرارة)، والأفران، ومراجل التدفئة المركزية وسخانات المياه مع مجموعة واسعة من خصائص الأداء والانبعاثات حسب الوقود والعمر والتكنولوجيا وطريقة الاستخدام. من ناحية أخرى، قد تحتوي المواقد القديمة والأجهزة الداخلية المفتوحة على عناصر تحكم محدودة للغاية ولا تقدم سوى تحسينات متواضعة في الكفاءة وأداء الانبعاثات مقارنة بالمعدات الأساسية. ومع ذلك، توفر مواقد الأخشاب الحديثة والأجهزة الأوتوماتيكية إدارة أفضل لعملية الاحتراق مع تحسين الانبعاثات والكفاءة. وبالمثل، توفر الأجهزة الحديثة التي تعمل بالغاز والزيت سيطرة على عمليات الاحتراق والاستفادة من الانبعاثات المرتبطة بها.

التدفئة غير المنزلية:

يغطي هذا القسم الفرعي مجموعة واسعة من تقنيات الاحتراق (خاصة للوقود الصلب) مع نطاقات واسعة من الانبعاثات المصاحبة، وتتضمن المراجل ذات قدرة تصل إلى 50 ميغاواط تستخدم للتدفئة في المباني السكنية والمكاتب والمدارس والمستشفيات والمجمعات السكنية، وعادة ما توجد مصادر صغيرة في القطاع التجاري والمؤسسي وكذلك في الزراعة؛ والطبخ غير المنزلي باستخدام الوقود الصلب أو الوحدات التي تعمل بالغاز في الفنادق والمطاعم التجارية والقطاعات غير التجارية (على سبيل المثال المدارس والمستشفيات)؛ وتدفئة داخلية وخارجية توفر توربينات الغاز «الصغيرة» توليدًا على نطاق صغير (عادةً 15-500 كيلوواط كهربائي) وتكنولوجيا توربينات الغاز في نطاق حجم أقل من 1 ميغاواط ؛

المحركات الترددية مثل مولدات الجُزر (بعيدًا عن شبكة الإمداد)، ووحدات الحرارة والطاقة المدمجة الصغيرة، أو للتوليد المشترك للطاقة والاحتياطي أو للاستخدامات الطارئة. تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات الاحتراق الصغيرة في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (الفقرات NFR 1.A.5.a. , 1.A.4.b.i, 1.A.4.c.i, 1.A.4.a.i).

2.1.2. الانبعاثات المتسربة من الوقود

تغطي الانبعاثات المتسربة من الوقود جميع الأنشطة غير أنشطة الاحتراق والمتعلقة باستخراج ومعالجة وتخزين وتوزيع واستخدام الوقود الأحفوري. وخلال جميع المراحل من استخراج الوقود الأحفوري إلى استخدامه النهائي قد يحدث هروب أو إطلاق للوقود الغازي أو المكونات المتطايرة للوقود السائل. تعتبر الانبعاثات المتسربة من تكرير ونقل وتوزيع المنتجات النفطية مكونًا رئيسيًا من انبعاثات الميثان المحلية وانبعاثات NMVOC في العديد من البلدان. يشمل هذا القطاع الفرعي الانبعاثات المتسربة من الميثان وثاني أكسيد الكربون وNMVOC الناتجة عن التنقيب عن النفط الخام وإنتاجه ونقله وتكرير النفط وتوزيع وتداول البنزين (بما في ذلك الانبعاثات من محطات الخدمة) وإنتاج وتوزيع الغاز الطبيعي (بما في ذلك التنفيس). ويشمل أيضًا انبعاثات الميثان من تعدين الفحم المنجمي والسطحي، أثناء أنشطة التعدين وما بعد التعدين. بالإضافة إلى المركبات العضوية المتطايرة NMVOC والميثان وثاني أكسيد الكربون، يشمل هذا القطاع الفرعي أيضًا انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأحادي أكسيد الكربون من تكرير النفط، وانبعاثات الكربون الأسود وأحادي اكسيد الكربون من الاشتعال أثناء استخراج النفط والغاز، وانبعاثات SO_2 وNO_x وCO وNH_3 وPM_{10} و$PM_{2.5}$ والكربون الأسود وأحادي أكسيد الكربون من انتاج فحم الكوك.

2.1.2.1. استكشاف وإنتاج ونقل أنواع الوقود الأحفوري السائل والغازي

يتضمن هذا القسم الانبعاثات المتسربة من التنقيب عن الوقود الأحفوري السائل والغازي وإنتاجه ونقله. وهي تشمل الانبعاثات من الأنشطة البرية والبحرية. تتباين مساهمة هذه الأنشطة في إجمالي الانبعاثات المحلية بشكل كبير، ولكن في البلدان التي يتم فيها استخراج النفط دائمًا ما تكون مساهماً هامًا في الإجمالي المحلي لـ NMVOC وكذلك في غاز الميثان (CH_4). بينما في مناطق الشرق الأوسط، تم تسجيل أعلى مساهمة لكل من إنتاج النفط والغاز الطبيعي في إجمالي انبعاثات NMVOC، والتي تساوي 53٪. يتم إنتاج النفط والغاز الطبيعي باتباع نفس العمليات الجيولوجية التي تتضمن التحلل اللاهوائي للمواد العضوية في أعماق سطح الأرض. نتيجة لذلك، غالبًا ما يوجد النفط والغاز الطبيعي معًا.

في الاستخدام الشائع، تُعرف الرواسب الغنية بالنفط باسم حقول النفط، وتسمى الرواسب الغنية بالغاز الطبيعي حقول الغاز الطبيعي. يوجد النفط والغاز في البر والبحر ويمكن استخدامهما في مجموعة متنوعة من العمليات بما في ذلك تدفئة المباني ومواد أولية في العمليات الكيميائية. يتزايد استخدام الغاز الطبيعي كوقود لتوليد الطاقة.

يتم استقبال الغاز في محطة الغاز عن طريق خطوط الأنابيب، وتتم تهيئته للتصدير إلى شبكة التوزيع المحلية أو الدولية. تشمل هذه التهيئة الفصل، وإزالة ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين، وحرق كبريتيد الهيدروجين، وتخفيف الضغط، وأنظمة النفخ. بينما يحدث نقل النفط من صهاريج التخزين أو مباشرة من البئر إلى سفينة أو حاوية أخرى مخصصة للنقل بعيدًا عن موقع الإنتاج. ويشمل هذا النشاط أيضًا الفقدان أثناء النقل. كذلك، أثناء تحميل النفط تحدث انبعاثات الاحتراق من مضخة النفط، خاصة عندما يتم تغذية المضخات بالنفط (كما في حالة السفن التي تضخ النفط إلى المحطات البحرية). عادة ما يتم نقل النفط والغاز من منشآت النفط والغاز إلى المحطات عن طريق خطوط الأنابيب.

قد تكون هذه الملوثات عابرة للحدود. أما فيما يتعلق بحفر الآبار، فإن هذه العمليات تتضمن استخدام طين حفر مُعدّ خصيصًا قد يحتوي على مذيبات عضوية. وعندما يخترق الحفر خزانات النفط / الغاز الصغيرة، فقد يؤدي ذلك إلى إطلاق انبعاثات.

يمكن تصنيف الانبعاثات من منشآت النفط والغاز المشتركة على أنها تنفيس مباشر للغاز في الغلاف الجوي، وتسريب أو تبخر من مياه الصرف الصحي الملوثة. عادةً ما يرتبط التنفيس - وهو إطلاق مباشر للغاز من العمليات المختلفة - بأنظمة تخفيف الضغط والتفريغ لضمان عمليات آمنة. وتشمل العمليات التي تؤدي إلى التنفيس المباشر أيضًا تجريد الغاز من تجديد الجليكول ومعالجة المياه والغاز المزال من الأنظمة المغلقة وإزالة ضغط المعدات والأنشطة الأخرى التي تؤدي إلى التنفيس. ويمكن تقليل انبعاثات التنفيس عن طريق حرق (ترميد) الغاز. إن هذا الإجراء مرغوب فيه من وجهة نظر بيئية لأن الميثان هو أحد غازات الاحتباس الحراري الأكثر فعالية لكل جزيء من ثاني أكسيد الكربون. ومن الممكن أيضًا تركيب أنظمة الاسترداد الخاصة عند فتحات التهوية. يمكن تصدير الغاز المستعاد أو استخدامه أو إعادة حقنه. ويمكن استخدام النيتروجين كغاز تطهير بدلاً من الهيدروكربونات.

يتضمن تثبيت النفط الخام إزالة المكونات الأكثر تطايرًا منه، ويتم ذلك إما على المنصات البحرية أو في المحطات. وعلى الرغم من أن للعملية القدرة على التسبب في انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة، إلا أن المصادر تدعي أن الانبعاثات هي في الواقع صغيرة لأن المواد المتطايرة تستخدم عمومًا كوقود أو يتم حرقها بدلاً من طرحها مباشرة الى الغلاف الجوي. تنشأ الانبعاثات المتسربة من عدة مصادر، منها تسرب الغاز من صمامات الضغط والأنابيب، ويمكن تقليل تلك الانبعاثات من خلال عدة إجراءات للكشف عن التسربات أثناء العملية، وتقليل هذه التسربات والانسكابات من خلال تغيير المعدات وتغيير الإجراءات وتحسين المراقبة والصيانة المستمرة. وبالنسبة لمياه الصرف، يتم فصلها عن خليط الزيت / الغاز وتنظيفها أولاً قبل التخلص منها. تحتوي المياه النظيفة حتمًا على بعض المركبات العضوية التي قد تتبخر لاحقًا. وقد تتبخر أيضًا المركبات العضوية التي تمت إزالتها أثناء التنظيف.

1. في المنشآت التي تنتج الغاز فقط والمصممة لبيع الغاز المنتج هناك مقدار أقل من التنفيس المباشر وحرق للغاز. تنتج هذه المرافق أيضًا كميات أقل من مياه الصرف الصحي.

2. في المنشآت المنتجة للنفط فقط، يتم حرق الغاز الناتج أو تنفيسه أو استخدامه كوقود أو إعادة حقنه في الخزانات. وبشكل عام، في المنشآت التي تعمل بالنفط فقط، سيحتوي خليط النفط الخام / الغاز الذي يصل إلى السطح على غاز أقل من خليط المنشآت المدمجة أو الغازية، وبشكل عام، يكون محتوى الميثان للغاز المطروح أقل من المحتوى الموجود في منشآت إنتاج الغاز.

وبالنسبة لنقل النفط الخام، يتم نقله من عمليات الإنتاج إلى المصفاة بواسطة الناقلات والبارجات وعربات صهاريج السكك الحديدية وشاحنات الصهاريج وخطوط الأنابيب. وعندما يتم تحميل النفط، يتم إزاحة بخار الهيدروكربون بواسطة النفط ويتم تكوين بخار جديد مما يؤدي إلى انبعاثات. تعتمد الكتلة المنبعثة على:

1. حركة السفينة - كلما زادت الحركة زادت الانبعاثات.
2. ضغط بخار النفط الخام.
3. درجة حرارة النفط الخام - يجب ان تكون منخفضة قدر الإمكان.
4. معدل التحميل لكل خزان - كلما زاد معدل التحميل انخفضت الانبعاثات.
5. طريقة التحميل - الرش، أو الغمر، أو التحميل السفلي.
6. أبعاد الخزانات - كلما زادت مساحة السطح زادت الانبعاثات.
7. فضاء الخزانات.
8. إجراءات تنظيف الزيت الخام.

على الرغم من أن التفريغ في حد ذاته يعتبر مصدرا ثانويا مقارنة بالتحميل، إلا أن إجراءات التفريغ قد تؤثر على الانبعاثات أثناء التحميل. ستتوفر أنظمة الاسترداد في المستقبل القريب والتي ستقلل من انبعاثات NMVOC من التحميل البحري بحوالي 70٪. تتوفر تقنيات لتقليل الانبعاثات من التحميل البري وتبلغ كفاءتها حوالي 85٪ (لا يتم تقليل انبعاثات الميثان بشكل كبير).

إن مياه الاتزان في السفن البحرية (الصابورة) هي مصدر محتمل آخر للانبعاثات. يعتبر تسريب الصابورة مصدرًا رئيسيًا للانبعاثات الناتجة عن التفريغ في المحطات البحرية. على أية حال، فإن لدى العديد من السفن (والجديدة منها) خزانات منفصلة حيث لا تكون الصابورة ضرورية وحتى لا يتم استخدامها في بعض البلدان (مثل النرويج).

تستخدم الصابورة عادة بعد تفريغ الحمولة من السفينة لتحسين مستوى استقرارها. ويتم عادةً تحميل صهاريج الشحن بحوالي 80٪ من سعتها، اي ما يعادل 15 إلى 40٪ من سعة السفينة. تحدث الانبعاثات عندما يتم إزاحة الأبخرة الموجودة بواسطة مياه الصابورة. ويتم ضخ مياه الصابورة خارجا قبل التحميل، وبالتالي تقليل انبعاثات التحميل اللاحقة. يمكن تقليل الانبعاثات عن طريق احتواء الأبخرة عبر إزاحة أبخرة الصابورة إلى خزان يتم تفريغه في نفس الوقت (وكالة حماية البيئة الأمريكية US EPA, 1996).

قد تنشأ الانبعاثات في خطوط الأنابيب من نقاط التوصيل والصمامات والأجزاء التالفة، ويتم التحكم فيها من خلال إجراءات الفحص الدوري، ومن ثم الصيانة والتجديد. تكون مصادر الانبعاث أثناء الحفر هي اختراق مكامن الغاز السطحية، وانتقال سوائل المكمن من خلال سائل الحفر المستخدم، وانتقال الغاز من خلال أعمال التغليف والتبطين الرديئة، واستخدام النفط أو طين الحفر الحاوي على المذيبات، وغسل القطع الملوثة بالنفط. وتتمثل خيارات التحكم الرئيسية في إزالة الغاز أثناء الحفر واستعادة الهيدروكربونات من الطين والمواد النفطية.

بالنسبة للغاز الطبيعي، يتكون الميثان عادةً 85-90٪ من الانبعاثات. يتم إطلاق كميات صغيرة فقط من NMVOC؛ وتشير التقديرات إلى أن ما يصل إلى 20٪ من الغاز المتسرب من الأنابيب والأنابيب الرئيسية يتأكسد في التربة بفعل الكائنات الحية الدقيقة. ومع ذلك، نظرًا لأنه من غير الممكن قياس مقدار تأكسد الغاز بهذه الطريقة، يوصى بتجاهل هذه الظاهرة في تقدير الانبعاثات. إن تقنيات نهاية الأنبوب غير قابلة للتطبيق لأنه لا يمكن جمع الانبعاثات معًا في أنبوب أو مجرى؛ بدلاً من ذلك، تنشأ من مجموعة متنوعة جغرافياً من المصادر الصغيرة التي تنبعث مباشرة إلى الغلاف الجوي، وبالتالي، فإن الطريقة الوحيدة لتقليل الانبعاثات هي استخدام مواد أفضل للأنابيب والمفاصل والصمامات؛ والكشف عن التسريبات وصيانتها بشكل أسرع؛ وتحسين عمليات الصيانة واجراءات تجميع الغاز الذي يتم فصله أثناء التشغيل وإيقاف التشغيل وأنشطة الصيانة الأخرى.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير عمليات الاستكشاف والإنتاج والنقل لانبعاثات الوقود الأحفوري السائل والغازي ضمن دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.2.a.i1.B.2.bg).

2.1.2.2. تكرير النفط وتخزينه

يغطي هذا القسم الانبعاثات من صناعة تكرير البترول. تحول هذه الصناعة النفط الخام إلى أكثر من 2500 منتج مكرر بما في ذلك الوقود السائل (من بنزين المحرك إلى الزيت المتبقي)، ووقود المنتجات الثانوية والمواد الأولية (مثل الأسفلت ومواد التشحيم والغازات وفحم الكوك) والبتروكيماويات الأولية (على سبيل المثال الإيثيلين، التولوين، الزيلين).

تبدأ عمليات مصفاة البترول باستلام النفط الخام للتخزين في المصفاة، وتشمل جميع عمليات معالجة وتكرير البترول وتنتهي بالتخزين التحضيري لشحن المنتجات المكررة من المصفاة.

بشكل أساسي، تعتبر مصافي البترول مصادر لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) و(NMVOC)، ومصادر أقل أهمية للجسيمات العالقة في الهواء وأكاسيد النيتروجين وأحادي أكسيد الكربون. تنشأ الانبعاثات نتيجة التبخر من صهاريج التخزين وإزاحة البخار أثناء الملء.

تستخدم صناعة مصفاة البترول مجموعة متنوعة من العمليات. وتعتمد أنواع العمليات المنجزة في منشأة واحدة على مجموعة متنوعة من الاعتبارات الاقتصادية واللوجستية مثل جودة خام النفط الخام وإمكانية الوصول وتكلفة الخام (والمواد الأولية البديلة)، وتوافر وتكلفة المعدات والمرافق، والطلب على المنتج.

يمكن تمييز أربع فئات رئيسية للعمليات في مصفاة البترول:

1. عمليات الفصل: من النفط الخام باستخدام ثلاث عمليات لفصل البترول: التقطير تحت الضغط الجوي، والتقطير التفريغي، واستعادة المنتجات الخفيفة (معالجة الغاز).
2. عمليات التحويل: وبالنظر لوجود طلب مرتفع على البنزين عالي الأوكتان ووقود الطائرات ووقود الديزل، يتم تحويل المكونات مثل الزيوت المتبقية وزيوت الوقود والمنتجات الخفيفة إلى بنزين وأجزاء خفيفة أخرى.
3. عمليات المعالجة: تعمل عمليات معالجة البترول على تثبيت المنتجات البترولية وتحسينها عن طريق إزالة الأملاح وإزالة كبريتيد الهيدروجين والمعالجة المائية والتحلية الكيميائية وإزالة كل من الغاز الحمضي والأسفلت.
4. المزج: يتم جمع تدفقات الوحدات المختلفة لإنتاج البنزين والكيروسين (الكاز) وزيت الغاز والزيت المتبقي، وفي بعض الحالات بعض المواد الخاصة.

تم تحديد الانبعاثات الناتجة عن معالجة المنتجات البترولية، والتقطير التفريغي، والتكسير التحفيزي، والتكسير الحراري، والتحلية، وأنظمة التفريغ، واستعادة الكبريت، وفصل الأسفلت وعمليات الحرق على أنها مصادر مهمة محتملة لثاني أكسيد الكبريت SO_2 وNMVOC من معالجة المنتجات البترولية، مع مساهمة أقل نسبيًا من الجسيمات العالقة وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون.

يتم تخزين ومعالجة المنتجات البترولية في صهاريج ذات أسقف ثابتة - تُستخدم لتخزين المنتجات مثل الكيروسين وزيت الغاز وزيت الوقود- إضافة الى خزانات السقف الخارجي العائم وخزانات السقف الداخلي العائم وخزانات البخار المختلفة المستخدمة لتخزين الزيوت الخام والمنتجات المتطايرة.

وبالنسبة لجميع الخزانات، ينتج إجمالي انبعاثات NMVOC عن نوعين من الفقدان، النوع الأول من التسريب وهو التنفيس أو التسريب الدائم، والذي يكون بالنسبة لخزانات السقف الثابت بمثابة إطلاق أبخرة في الخزان نتيجة التغيرات في الظروف الجوية كدرجة الحرارة والضغط دون أي تغيير ملموس في مستوى السائل في الخزان. أما بالنسبة للصهاريج ذات الأسطح العائمة فإن التسريبات الدائمة ناتجة عن تسرب البخار من الصمامات وتركيبات الأسقف وما إلى ذلك. تعود غالبية الانبعاثات من صهاريج السقف العائم إلى التسريب الدائم.

أما النوع الثاني من التسريب هو تسريب العمل (بما في ذلك فقدان السحب). بالنسبة للخزانات ذات الأسطح الثابتة، ينتج هذا عن إزاحة الأبخرة أثناء الملء وتبخر المنتج المتروك على جدران الخزان أثناء التفريغ. وبالنسبة لخزانات الأسطح العائمة، فإن الفقد ناتج فقط عن تبخر المنتج المتروك على جدران الخزان عندما ينخفض مستوى سطح المنتج مع إزالته من الخزان. يجب تخزين جميع المواد الوسيطة والمنتجات النهائية في الحاوية المناسبة: أوعية الضغط للغازات، وخزانات الأسطح العائمة للسوائل المتطايرة، وخزانات السقف الثابت للكيروسين ونواتج التقطير وزيت الوقود والسوائل غير المتطايرة الأخرى.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات تكرير النفط وتخزينه في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.2.a.iv).

2.1.2.3. توزيع المنتجات النفطية

تغطي هذه الفئة أنشطة توزيع البنزين وأنواع الوقود الأخرى بدءًا من محطة النقل في المصفاة أو المحطة الحدودية، حيث يتم تحميلها في عربات السكك الحديدية أو البارجات أو الناقلات الساحلية أو خطوط الأنابيب للتسليم إلى محطات التسويق أو المستودعات أو في ناقلات الطرق (شاحنات الصهاريج) للتسليم إلى محطات الخدمة أو مستودعات التسويق الصغيرة. ويتم أيضًا تغطية الانبعاثات من محطات التسويق أو المستودعات (أو مباشرة من المحطات الحدودية) لوقود السيارات، على سبيل المثال البنزين وزيت الغاز في شاحنات صهاريج لتسليمها إلى محطات الخدمة حيث يتم نقلها إلى صهاريج تخزين تحت الأرض وتوزيعها لاحقًا بواسطة خزانات وقود السيارات.

وقد ساهمت الانبعاثات من فئة المصدر هذه تاريخيًا بشكل كبير في إجمالي انبعاثات NMVOC البشرية المنشأ. بالإضافة إلى تطاير البنزين، فإن غالبية انبعاثات NMVOC في توزيع المنتجات النفطية تحدث أثناء تخزينها ومعالجتها.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير توزيع انبعاثات المنتجات النفطية في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/ EEA (NFR الفقرة1.B.2.a.v).

2.1.2.4. التهوية والاشتعال

الاشتعال هو في الأساس احتراق الغاز لكن دون استغلال الطاقة التي يتم إطلاقها. يشمل الاشتعال أثناء الاستخراج والمعالجة الأولى للوقود الأحفوري الغازي والسائل والحرق في مصافي النفط؛ بالإضافة إلى الانبعاثات الناتجة عن الحرق بعد اختبار البئر. تعتبر انبعاثات الاحتراق من استخراج الغاز والنفط مصدرًا مهمًا للانبعاثات في البلدان المنتجة للنفط والغاز. إن الملوثات المنبعثة هي أكاسيد النيتروجين NO_x وNMVOC، ولكن أيضًا قد تنبعث SO_x وCO وHM وPM بما في ذلك الكربون الأسود.

يتم في منشآت إنتاج الغاز والنفط، حرق الغاز من أجل السلامة. إن الأسباب الرئيسية هي عدم وجود عملية أو قدرة نقل للغاز، مع استمرارية تدفق فائض الغاز، وبدء التشغيل، والصيانة والطوارئ (الحاجة إلى تخفيف الضغط). يتم توجيه الغاز عبر خط أنابيب إلى طرف الاشتعال أعلى المنصة وبعيدًا عنها. ويتم إجراء اختبار البئر كجزء من نشاط الاستكشاف. وبعد الاكتشاف، يتم اختبار البئر للتحقق من الطاقة الإنتاجية وتكوين سائل مستودع التخزين. وبسبب نقص مرافق المعالجة والتخزين والنقل، يمكن التخلص من النفط أو الغاز المستخرج عن طريق الحرق.

تُستخدم في تكرير النفط، أنظمة التفريغ لجمع وفصل كل من تصريف السائل والبخار من وحدات ومعدات معالجة التكرير المختلفة. وقد يكون الجزء الغازي - الذي قد يمثل تصريف هيدروكربون مخطط له أو غير مخطط له- إما معاد تدويره أو تم إشعاله.

يوفر الحرق آلية أمان مستخدمة على نطاق واسع وخيار للتحكم في الانبعاثات لأنظمة التفريغ عندما لا يمكن استرداد قيمة التسخين لتيار الانبعاث بسبب الإطلاق غير المؤكد أو المتقطع أثناء الاضطرابات / حالات الطوارئ في العملية. قد يتم حرق الأبخرة غير المكثفة من نظام التفريغ في مشاعل مصممة للتعامل مع التقلبات الكبيرة لكل من معدل التدفق ومحتوى الهيدروكربون. او بدلاً من ذلك، قد تُستخدم المؤكسدات الحرارية لإتلاف تيارات الغاز التي تحتوي على مكونات مهلجنة أو حاملة للكبريت أكثر تآكلًا. هناك أنواع مختلفة من المشاعل (أنظمة التوهج المرتفعة التي تعمل بالبخار، والمشاعل المغلقة على مستوى الأرض (المؤكسدات)).

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير انبعاثات التهوية والاحتراق في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.2.c.).

2.1.2.5. الانبعاثات المتسربة من تعدين الفحم والتعامل معه

يغطي هذا القسم الانبعاثات الناتجة عن التعدين والتعامل مع الفحم. يتم استبعاد الخث وأنواع الوقود الصلب الأخرى والمعالجات اللاحقة للفحم، مثل تحويل الوقود، وانتاج فحم الكوك، والتغويز (التحويل إلى غاز)، والإسالة. تحتوي حقول الفحم على نسبة من المواد شديدة التطاير والتي يتم إطلاقها أثناء تشغيل واستخراج وتخزين الفحم. تُعرف المادة المتطايرة باسم غاز المناجم ويتكون أساسًا من الميثان، على الرغم من وجود مركبات أخرى بكميات صغيرة أيضًا. غالبًا ما ينتج عن إطلاق غاز المناجم انبعاث في الهواء لأنه ليس من الاقتصادي دائمًا احتواء الغاز بسبب التخفيف العالي الذي يجعله غير قابل للاستخدام كوقود أو لأغراض الاحتراق.

ينتج عن استخراج الفحم ومعالجته بشكل أساسي انبعاثات غاز الميثان. ومع ذلك، لم يتم تناول NMVOC وPMs وCO_2 في هذا الدليل.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات المنفلتة من تعدين الفحم ومعالجته في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.1.a.).

2.1.2.6. الانبعاثات المتسربة من تحويل الوقود الصلب

فحم الكوك هو وقود يتم إنتاجه عن طريق تسخين الفحم إلى درجات حرارة عالية. يحتوي منتج الوقود هذا (فحم الكوك) على القليل من الشوائب وغالبًا ما يستخدم في صهر الحديد وإنتاج الفولاذ. يمكن تقسيم إنتاج فحم الكوك بشكل عام إلى معالجة الفحم وتخزينه، وتغذية الأفران بالفحم، وتحويل الفحم الى الكوك، واخماد الفحم، وتنقية الغاز في أفران الكوك.

في فرن فحم الكوك يتم إنتاج فحم الكوك ومنتجاته (بما في ذلك غاز فرن فحم الكوك) عن طريق الانحلال الحراري للفحم (التسخين في غياب الهواء) لدرجات مناسبة. تتضمن العملية أيضًا معالجة غاز فرن الكوك لإزالة القطران،)عادة ما يتم استعادة NH_3 في صورة كبريتات الأمونيوم)، والفينول، والنفثالين، والزيت الخفيف، والكبريت قبل استخدامه كوقود لتسخين الأفران. ومن أجل إنتاج فحم الكوك يجب سحق الفحم الصلب أولاً وخلطه ونخله. يمكن أن تعزى الانبعاثات المتعلقة بإنتاج فحم الكوك إلى أربع عمليات فرعية:

1. تداول الفحم وتخزينه: انبعاث غبار الفحم.
2. إنتاج فحم الكوك: انبعاث غبار الفحم وفحم الكوك وغاز أفران الكوك.
3. معالجة وتنقية غاز أفران الكوك: انبعاث البنزين والتولوين والزيلين والفينول وPAH (الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S) وسيانيد الهيدروجين (HCN) وNH_3.
4. احتراق غاز فرن الكوك: انبعاث الهيدروكربونات وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون واحادي أكسيد الكربون وفلوريد الهيدروجين والسخام.

تعتبر أفران الكوك مصدرًا رئيسيًا للانبعاثات المتسربة. تنبعث عملية انتاج الكوك SO_x وNO_x وCH_4 وCO_2 وCO وNH_3 وPM وHMs. بشكل عام، لا ترتبط بإنتاج الكوك انبعاثات لأكسيد النيتروز. كما تعتبر أفران الكوك أيضًا مصدرًا مهمًا لانبعاثات الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات.

إلى جانب هذه المركبات، تعتبر المنتجات الثانوية التالية أيضًا مكونات غاز أفران الكوك المنتج: القطران، الفينول، البنزين، البيريدين، NH_3، HCN، H_2S وثنائي كبريتيد الكربون. قد يطلق قسم استعادة المنتج الثانوي في مصنع انتاج الكوك) مثل معالجة NH_3، معالجة القطران (كميات كبيرة من CH_4، NMVOC، NH_3 وPM.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات المتسربة من تحويل الوقود الصلب تحت دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.1.b.).

2.2. العمليات الصناعية واستخدام المنتج

يشير هذا القسم إلى انبعاثات ملوثات الهواء الناتجة كمنتج ثانوي لمختلف الأنشطة الصناعية غير المتعلقة بالطاقة. أي أن هذه الانبعاثات تنتج من عملية صناعية بحد ذاتها وليست نتيجة مباشرة للطاقة المستهلكة أثناء العملية. على سبيل المثال، يمكن تحويل المواد الخام كيميائيًا من حالة إلى أخرى.

2.2.1. المنتجات المعدنية

2.2.1.1. انتاج الإسمنت

يعتبر تصنيع الإسمنت صناعة رئيسية للمنتجات المعدنية. أثناء عملية التصنيع، يتم طحن المواد الخام الطبيعية بدقة ثم تحويلها إلى كلنكر الإسمنت في نظام الفرن عند درجات حرارة عالية. يتم تبريد الكلنكر وطحنه مع الإضافات في مسحوق ناعم يعرف باسم الإسمنت. فالإسمنت مادة رابطة هيدروليكية، أي أنها تتصلب عند مزجها بالماء. يستخدم الإسمنت لربط الرمل والحصى معًا في الخرسانة. الإسمنت البورتلاندي هو أسمنت هيدروليكي وهو عبارة عن أسمنت لا يتصلب فقط بالتفاعل مع الماء، لكنه يُشكل أيضاً منتجًا مقاومًا للماء.

تنشأ الجسيمات الدقيقة من مصانع الإسمنت بشكل رئيسي من المعالجات المسبقة واللاحقة. الانبعاثات الرئيسية من إنتاج الإسمنت هي الانبعاثات في الهواء من نظام الفرن. تأتي الانبعاثات من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية للمواد الخام والوقود. أما الانبعاثات من الفرن هي مزيج من الاحتراق وانبعاثات العمليات، لكن من المفترض أن تنشأ انبعاثات الملوثات الرئيسية - أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت وأكسيد الكربون وNMVOC وNH$_3$ - بالإضافة إلى HM وPOPs بشكل أساسي من احتراق الوقود.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من إنتاج الإسمنت في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.A.2).

2.2.1.2. انتاج الجير

الجير (CaO) هو ناتج تكلس الحجر الجيري بدرجة حرارة عالية. يتم الإنتاج في أفران رأسية ودوّارة تعمل بالفحم أو الزيت أو الغاز الطبيعي. يمكن الأخذ بنظر الاعتبار نوعين رئيسيين من العمليات ضمن عمليات إنتاج الجير: استخراج الأحجار، والتكسير، وتصنيف حجم المعادن؛ واحتراق الوقود في أفران الجير.

تشمل الانبعاثات الغازية في تصنيع الجير انبعاثات الجسيمات من التعدين والسحق والغربلة وتكليس الحجر الجيري وانبعاثات ملوثات الهواء المتولدة أثناء احتراق الوقود في الأفران. لا تكون هذه الانبعاثات كبيرة للغاية على المستوى العالمي أو حتى الإقليمي. ومع ذلك، يمكن أن تكون أعمال الجير مصدرًا مهمًا لانبعاثات ملوثات الهواء على نطاق محلي. يتسبب إنتاج الجير في انبعاثات من كل من العمليات والاحتراق. الملوثات المنبعثة هي SO_x وNO_x وNMVOC وCH_4 وCO وCO_2 وN_2O وPM.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من إنتاج الجير في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء في في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.A.2).

2.2.1.3. الهدم والبناء

يشكل تشييد البنى التحتية والمباني مصدراً هاماً لانبعاثات الجسيمات الملوثة العالقة في الهواء المتسربة. وفي كثير من الأحيان، لوحظ ارتفاع تركيز PM_{10} في الأماكن المحيطة والقريبة من أعمال البناء. يتم انجاز نسبة كبيرة من أنشطة البناء في المناطق الحضرية وغيرها من المناطق ذات الكثافة السكانية العالية، وبالتالي، قد يتعرض عدد كبير من الناس للجسيمات المنبعثة من أنشطة البناء. إلى جانب كونها مصدرًا لانبعاثات الجسيمات، قد تبعث أنشطة البناء ملوثات أخرى أيضًا. يتعلق هذا في الغالب بمنتجات الاحتراق مثل أكاسيد النيتروجين والسخام وثاني أكسيد الكربون وانبعاثات NMVOC المتسربة الناتجة عن استخدام المنتجات.

في العمليات الانشائية هناك العديد من الأنشطة المحتملة التي تؤدي إلى انبعاثات الهواء. على سبيل المثال، الأنشطة التالية هي مصادر وثيقة الارتباط بانبعاث الجسيمات العالقة الملوثة للهواء:

1. تنظيف الأراضي وأعمال الهدم
2. عمليات تحريك التربة والقطع والتعبئة
3. حركات المعدات
4. معدات تكسير الأنقاض المتنقلة
5. النقل بالسيارات (تحميل وتفريغ وسحب المواد المؤدية الى تراكم الغبار على الطرق المعبدة وإعادة تعليق الغبار اللاحقة بفعل حركة المركبات)
6. أنشطة تهيئة المواقع
7. أنشطة بناء معينة مثل خلط الخرسانة والملاط والجص والحفر والطحن والقطع والتكسير والصنفرة واللحام والتسوية الرملية
8. أنشطة التشطيب المختلفة
9. الغبار الناتج عن هبوب الرياح على الطرق غير المعبدة ومواقع البناء المكشوفة

وتتكون انبعاثات الجسيمات العالقة في الهواء إلى حد كبير من تركيبة معدنية ذات اصل ميكانيكي، ويشكل غبار التربة عادةً جزءاً كبيراً منها. تعد إعادة تعليق غبار التربة عن طريق حركة المرور مساهماً هامًا وفقًا للأدبيات، ولكن نظرًا لأن إعادة تعليق هذه الجسيمات عن طريق النقل البري ككل يمكن تقديره أيضًا من جهة اخرى، فهناك خطر ازدواج حساب هذه الانبعاثات. وبالنسبة للعديد من الأنشطة التي تؤدي إلى انبعاثات الغبار والجسيمات العالقة، يعتمد انبعاث الغبار بشدة على محتوى المواد أو رطوبة التربة لأن الرطوبة تميل إلى تحفيز الجزيئات على التكتل معًا مما يمنع انتقالها بالهواء.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن أعمال البناء والهدم في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.A.5.b.).

2.2.2. الصناعات الكيميائية

تعتبر الصناعة الكيميائية بالنسبة لمعظم الملوثات مصدرًا ثانويًا للانبعاثات. وعلى الرغم من أن منتجات الصناعة الكيميائية يمكن أن تكون مختلفة تمامًا، فإن جميع العمليات في الصناعة الكيميائية تتكون أساسًا من سلسلة عمليات متماثلة، وعادة ما تكون أيضًا شديدة التكامل والترابط. وفي الهندسة الكيميائية والمجالات ذات الصلة تعتبر عملية الوحدة خطوة أساسية في العمل. على سبيل المثال، في إنتاج NH_3 يعتبر التغويز (التحول إلى الحالة الغازية) وإعادة التشكيل وتوليف NH_3 عمليات وحدة متصلة لإنشاء العملية الكلية.

إن ملوثات الهواء الرئيسية الناتجة عن المعالجة الكيميائية هي SO_2، SO_3، H_2S، ثاني كبريتيد الكربون (CS2)، أكاسيد النيتروجين، NH_3، N_2O، HCN، غاز الكلور (Cl_2)، غاز البروم (Br_2)، HF، كلوريد الهيدروجين (HCl)، بروميد الهيدروجين (HBr) والمركبات العضوية المتطايرة. تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من الصناعة الكيميائية في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 1.B.2 لإنتاج NH_3، 2.B.2 لإنتاج حامض النيتريك، 2.B.3 لإنتاج حامض الأدبيبك، 2.B.5 لإنتاج الكربيد، 2.B.10.a للصناعات الكيماوية الأخرى، 2.B.10.bg لتخزين وتداول ونقل المنتجات الكيميائية).

2.2.3. انتاج المعادن

يتكون قطاع المعادن من منشآت إنتاج المعادن التي تقوم بصهر وتنقية و/أو صب المعادن الحديدية وغير الحديدية بما في ذلك الألمنيوم الأساسي والسبائك الحديدية والحديد والصلب والرصاص والمغنيسيوم والزنك من المواد الخام أو السبائك أو الخردة باستخدام التعدين الكهربائي وغيرها من الأساليب. كما يشمل القطاع المسابك وأي منشآت إنتاج معادن أخرى.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من إنتاج المعادن في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.C.1 لإنتاج الحديد والصلب، 2.C.2 لإنتاج السبائك الحديدية، 2.C.3 لإنتاج الألمنيوم، 2.C.4 لإنتاج المغنيسيوم، 2.C.5 لإنتاج الرصاص، 2.C.6 لإنتاج الزنك، 2.C.7.a لإنتاج النحاس، 2.C.7.b لإنتاج النيكل، 2.C.7.c لإنتاج المعادن الأخرى، 2.C.7.d لتخزين ومناولة ونقل المنتجات المعدنية.

2.2.4. استخدام المذيبات والمنتجات

2.2.4.1. انتاج أسقف الاسفلت

يتم تصنيع اللباد المشبع وألواح الأسقف والجدران. تستخدم معظم هذه المنتجات في الأسقف وتطبيقات البناء الأخرى. تغطي فئة المصدر هذه انبعاثات NMVOC وCO والمواد الجسيمات العالقة من جميع المرافق ذات الصلة باستثناء عمليات الأسفلت.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن إنتاج أسقف الأسفلت في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.D.3.c.).

2.2.4.2. رصف الطرق بالأسفلت

يتم إنتاج الأسفلت - الذي يشار إليه عادة باسم البتيومين أو الإسمنت الأسفلتي أو الخرسانة الإسفلتية أو زيت الطرق - بشكل أساسي في معامل تكرير البترول. وفي بعض البلدان، يُشار أيضًا إلى المنتج المختلط باسم «الأسفلت»، بينما يُعرف في بلدان أخرى باسم «المكادام». تتكون أسطح وأرصفة الأسفلت من الركام المضغوط ومواد الأسفلت الرابطة. يغطي هذا القسم الانبعاثات من عمليات رصف الأسفلت وكذلك الانبعاثات اللاحقة من الأسطح المرصوفة.

الأسفلت هو مصدر المركبات العضوية المتطايرة. عند استخدام قطران الفحم في العملية، تنبعث الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، على الرغم من توقف هذه التقنية إلى حد كبير.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن رصف الطرق بالإسفلت في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.D.3.b.).

2.2.4.3. استخدامات أخرى للمذيبات والمنتجات

في بعض البلدان، يمكن أن يكون استخدام المذيبات والمنتجات الأخرى المحتوية على مركبات هيدروكربونية خفيفة مصدرًا رئيسيًا للانبعاثات في الغلاف الجوي للمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية. يتمثل النهج العام لتقدير الانبعاثات في معرفة مدى النشاط ذي الصلة - على سبيل المثال، حمولة الطلاء الحاوي على المذيبات والمستخدم لغرض معين - ومضاعفة ذلك في معامل الانبعاث، (على سبيل المثال، كغم NMVOCs/ لكل طن من الطلاء المستخدم). يمكن بدلاً من ذلك تقدير الانبعاثات الناتجة عن استخدام المذيبات باستخدام توازن الكتلة. يعد هذا أكثر دقة، ولكنه أيضًا بحاجة الى كم أكبر من البيانات لأنه يتطلب معلومات تفصيلية حول استهلاك المذيبات، والمنتجات المحتوية على المذيبات ومحتواها من المذيبات.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من استخدام المذيبات والمنتجات الأخرى في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.D.3.i. 2.Gg).

2.2.5. أنواع أخرى من الإنتاج الصناعي

2.2.5.1. صناعة اللب والورق

يتكون إنتاج الورق واللب من ثلاث خطوات معالجة رئيسية: فصل الألياف والقصر (التبييض) وإنتاج الورق. يعتمد نوع عملية فصل الألياف وكمية القاصر المستخدمة على طبيعة المادة الأولية والصفات المرغوبة للمنتج النهائي. فيما يلي مناقشة لثلاث عمليات استخلاص كيميائية مختلفة:

1. فصل الألياف بطريقة كرافت (كبريتات): إنها أكثر عمليات فصل الألياف استخدامًا وعادة ما تستخدم لإنتاج منتجات ورقية قوية. وتتضمن الأخشاب (أو غيرها من المواد الحاملة للسليلوز) في محلول مائي من كبريتات الصوديوم وهيدروكسيد الصوديوم، وغسل اللب، والقصر، والاستعادة الكيميائية، واستعادة المنتجات الثانوية.

2. عملية فصل الألياف باستخدام الكبريتيت (عملية حمض الكبريتيت) تتضمن فصل الألياف الخشبية كيميائيًا باستخدام ثاني أكسيد الكبريت الممتص في محلول قاعدي. ينتج فصل اللب بالكبريتيت ورقًا أضعف من بعض أنواع اللب الأخرى ولكن أقل لونًا مما يجعله أكثر ملاءمة للطباعة، وغالبًا مع القليل من مواد التبييض.

3. فصل اللب متعادل الكبريتيت شبه الكيميائي(NSSC): إحدى عمليات فصل الألياف الكيميائية التي يمكن استخدامها؛ وتتضمن إزالة اللكنين الجزئي من المواد الخام الخشبية باستخدام محلول كبريتيت الصوديوم، مع استكمال عملية فصل الألياف بالوسائل الميكانيكية. تُستخدم عجائن NSSC في بعض أوراق الكتابة والطباعة.

4. تشمل الانبعاثات الرئيسية من إنتاج اللب والورق الديوكسينات وNMVOC، وأكاسيد الكبريت، والجسيمات، وأكاسيد النيتروجين، وأحادي أكسيد الكربون.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من صناعات اللب والورق في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء من برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.H.1).

2.2.5.2. صناعة المواد الغذائية

تشمل الانبعاثات من تصنيع الأغذية جميع العمليات في سلسلة إنتاج الغذاء التي تحدث بعد ذبح الحيوانات وحصاد المحاصيل. قد يشمل تصنيع الأغذية تسخين الدهون والزيوت والمواد الغذائية المحتوية عليها، وخبز الحبوب والطحين والفاصوليا، والتخمير في صنع الخبز، وطهي الخضار واللحوم، وتجفيف البقايا والمخلفات. قد تحدث هذه العمليات في مصادر تختلف في الحجم ابتداء من المنازل المحلية إلى المصانع. وقد تحدث معالجة الأغذية في أوعية مفتوحة بدون تهوية قسرية أو أوعية مغلقة مع تهوية دورية أو أوعية مع تصريف مستمر مسيطر عليه الى الجو. وفي المصانع الأكبر، قد تكون الانبعاثات شديدة الرائحة وبالتالي يمكن التحكم فيها باستخدام أنابيب نقل الانبعاثات.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من الصناعات الغذائية في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 2.H.2).

2.3. الزراعة

تنبعث ملوثات الهواء من عدة أنواع من الأنشطة الزراعية بما في ذلك: التخمر المعوي للماشية (مصدر انبعاثات غاز الميثان)، وإدارة روث الماشية (NH_3) و(CH_4، ومساكن الحيوانات (PM_{10}) و($PM_{2.5}$واستخدام الأسمدة المحتوية على النيتروجين)أكاسيد النيتروجين وNH_3، وحرق السافانا وحرق مخلفات المحاصيل الزراعية (وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت، NH_3، أول أكسيد الكربون، الميثان، NMVOC و(PM. إن معظم عوامل الانبعاث لهذا المصدر هي عوامل من المستوى 1.

2.3.1. إدارة السماد الطبيعي

هناك خمسة مصادر رئيسية للانبعاثات المتعلقة بتربية المواشي وإدارة السماد الطبيعي: تغذية الماشية (مصدر للجسيمات)؛ السماد المتولد في مساكن الماشية وفي مناطق الأفنية المفتوحة (NH_3، PM، NMVOCs)؛ تخزين السماد الطبيعي (NH_3، NO، NMVOCs)؛ السماد المطبق في الحقل (NH_3، NO، NMVOCs)؛ والفضلات التي تترسب أثناء الرعي (NH_3، NMVOCs، NO).

ينبعث NH_3 في حالة تعرض الفضلات أو السماد إلى الجو، وتحديداً في مساكن الماشية، ومن مخازن السماد، وبعد تطبيق السماد في الحقول، ومن الفضلات التي تخلفها حيوانات الرعي. يتشكل أكسيد النيتروجين في البداية من خلال النترجة وبعد ذلك أيضًا عن طريق نزع النتروجين في الطبقات السطحية للسماد المخزن أو في السماد المُهوّى لتقليل الرائحة أو لتعزيز عملية انتاج الاسمدة. بالإضافة إلى إدارة السماد الطبيعي، تعد مخازن العلف مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات NMVOC. تنشأ انبعاثات المواد الجسيمية بشكل أساسي من الأعلاف والتي تمثل 80-90٪ من إجمالي انبعاثات المواد الجسيمية من قطاع الزراعة.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن إدارة السماد الطبيعي في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرات 3.B.1.a, 3.B.1.b, 3.B.2, 3.B.3, 3.B.4.a, 3.B.4.d, 3.B.4.e, 3.B.4.f, 3.B.4.g.i, 3.B.4.g.ii, 3.B.4.g.iii, 3.B.4.g.iv and 3.B.4.h).

2.3.2. انتاج المحاصيل والنفايات الزراعية

هناك أربعة مصادر رئيسية للانبعاثات من إنتاج المحاصيل والنفايات الزراعية: سماد النيتروجين المعدني، وروث الماشية، واستخدام النفايات العضوية (NH_3)؛ والعمليات الميكروبية في التربة؛ وعمليات المحاصيل (NH_3) و(NMVOCs؛ وزراعة التربة وحصاد المحاصيل (PM).

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من إنتاج المحاصيل والتربة الزراعية في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرات 3.D.a.1, 3.D.a.2.a, 3.D.a.2.b, 3.D.a.2.c, 3.D.a.3, 3.D.a.4, 3.D.b, 3.D.c, 3.D.d and 3.D.e).

2.4. النفايات

تشمل طرق معالجة النفايات والتخلص منها الترميد / الحرق، وطمر النفايات والمعالجة الهوائية و/أو اللاهوائية لمياه الصرف الصحي البلدية.

2.4.1. حرق النفايات

يُعرَّف ترميد النفايات على أنه حرق النفايات الصلبة والسائلة في مرافق الحرق الخاضعة للرقابة. تحتوي أفران حرق النفايات الحديثة على مداخن طويلة وغرف احتراق مصممة خصيصًا والتي توفر درجات حرارة احتراق عالية لفترات طويلة، مع تقليب للنفايات أثناء إدخال الهواء لمزيد من الاحتراق الكامل. تشمل أنواع النفايات التي يتم ترميدها كلا من النفايات البلدية الصلبة (MSW)، والنفايات الصناعية، والنفايات الخطرة، والنفايات الطبية وحمأة الصرف الصحي. تعد ممارسة ترميد النفايات الصلبة البلدية حاليًا أكثر شيوعًا في البلدان المتقدمة، في حين أن حرق النفايات الطبية يعد أكثر شيوعا في كل من البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء.

من المهم ملاحظة أنه في الحالات التي يتم فيها استرداد الطاقة من حرق النفايات إما للتدفئة أو لتوليد الكهرباء، فمن الممارسات الجيدة الإبلاغ عن الانبعاثات في قطاع الاحتراق ذي الصلة الموضح في الفقرة 2-1-1 (NFR الفقرة 1.A). إذا لم يتم تطبيق استعادة الطاقة، فمن الضروري الإبلاغ عن الانبعاثات في قطاع حرق النفايات.

2.4.1.1. ترميد النفايات البلدية

يتضمن هذا القسم بشكل أساسي الانبعاثات من المداخن ومجاري الهواء بدون استرداد الحرارة. ومن غير المحتمل أن تساهم انبعاثات المركبات مثل المركبات العضوية المتطايرة وثاني أكسيد الكبريت وحامض الهيدروكلوريك والجسيمات من حرق النفايات بشكل كبير في إجمالي الانبعاثات. ومع ذلك، فإن محارق النفايات تعتبر مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات PCDD/Fs والملوثات العضوية الثابتة الأخرى وبعض الملوثات المعدنية مثل الكادميوم والزئبق (Hg). إن الملوثات المنبعثة هي SO_x وNO_x وNMVOCs وCO وNH_3. تطبق محارق النفايات الصلبة البلدية في العديد من البلدان في الوقت الحاضر تقنيات تخفيف واسعة النطاق وتتوافق مع حدود الانبعاثات، وفي هذه الحالات انخفضت مساهمة محارق النفايات الصلبة المحلية في إجمالي انبعاثات PCDD / Fs HM بشكل كبير.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من حرق النفايات البلدية في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA NFR الفقرة 5.C.1.a).

2.4.1.2. ترميد النفايات الصناعية

يختلف تكوين النفايات الصناعية بشكل كبير. بشكل أساسي، يغطي هذا القسم الانبعاثات من المداخن ومجاري الهواء. تشمل النفايات الصناعية أي نفايات خطرة / كيميائية غير مرغوب فيها مثل الأحماض والقلويات والمركبات المهلجنة وغيرها من المركبات السامة المحتملة والوقود والزيوت والشحوم ومواد التصفية المستخدمة والمخلفات الحيوانية والنفايات الغذائية. إن أبرز مصادر النفايات الصناعية هي المصانع الكيماوية، ومصافي التكرير، والتصنيع الخفيف والثقيل، وما إلى ذلك. ومعظم محارق النفايات عبارة عن محارق صغيرة للنفايات الخطرة / الكيميائية يتم إنشاؤها في الموقع، ومخصصة للاستخدام الخاص بالصناعات. بشكل عام، من غير المحتمل أن تكون محارق النفايات الصناعية مصدرًا مهمًا للانبعاثات، لأن النفايات المعالجة غالبًا ما تكون ذات سُمّية عالية وأن تخفيض الملوثات الفعال مطلوب لتلبية معايير الانبعاثات.

من المرجح أن تختلف النسبة المئوية للانبعاثات التي يساهم بها حرق النفايات الصناعية بين الملوثات. ومن المحتمل أن تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والمركبات العضوية المتطايرة وحمض الهيدروكلوريك والجسيمات من محارق النفايات الصناعية أقل أهمية من المصادر الأخرى. ومع ذلك، فمن المرجح أن تكون محارق النفايات الصناعية بواعث أكبر للديوكسينات والكادميوم والزئبق مقارنة بالعديد من المصادر الأخرى. إن هذا يعتمد على نوع النفايات وكفاءة عملية الاحتراق ودرجة التخفيف. هناك العديد من تصاميم الأفران المختلفة المستخدمة في محارق النفايات الصناعية. يتم استخدام مجموعة من التصميمات الشبكية والمهد المميع، لكن التصميم الدقيق للفرن يعتمد على نوع النفايات المحترقة وتكوينها وإنتاجية النفايات. التأثيرات الرئيسية لنوع المحرقة على مستوى الانبعاثات في الغلاف الجوي هي قدرة حرق النفايات للمحرقة، وتقنيات التشغيل ودرجة التخفيف المدرجة في تصميم العملية. غالبًا ما يتم تشغيل محارق النفايات الصناعية الصغيرة ذات الإمداد المحدود للنفايات على شكل دفعات. يؤدي هذا إلى زيادة وتيرة بدء التشغيل وانبعاثات الاحتراق، والتي غالبًا ما تكون كبيرة.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن حرق النفايات الصناعية في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرات 5.C.1.b.i, 5.C.1.b.ii, and 5.C.1.b.iv.).

2.4.1.3. حرق النفايات الطبية

يمكن تمييز نفايات المستشفيات على أنها «نفايات محددة» و«نفايات أخرى». تشمل نفايات المستشفيات المحددة البقايا التشريحية البشرية وأجزاء الأعضاء، والنفايات الملوثة بالبكتيريا والفيروسات والفطريات، وكميات أكبر من الدم. تم حظر حرق نفايات المستشفيات في بعض الدول الأوروبية. أما في البلدان التي يُسمح فيها بهذه العملية، تكون المحارق في معظمها حاليًا منشآت صغيرة موجودة في الموقع في المستشفيات. ومع ذلك، هناك اتجاه عام نحو مرافق مركزية أكبر.

يتضمن هذا القسم تقليل حجم نفايات المستشفيات عن طريق الاحتراق. بشكل أساسي، يغطي هذا القسم الانبعاثات من المداخن ومجاري الهواء. في بعض الحالات، يتم حرق نفايات المستشفيات في محارق النفايات البلدية أو في «محارق النفايات الخطرة» مع النفايات الخطرة / الكيميائية الناتجة من العمليات الصناعية.

تختلف نسب الانبعاثات الناتجة عن حرق نفايات المستشفيات بين الملوثات. من المحتمل أن تكون العملية مصدرًا لبعض الملوثات العضوية الثابتة، مثل PCDD / Fs، HCBs، PAHs وبعض المعادن الثقيلة مثل Hg، Cd، إلخ. من غير المحتمل أن تساهم انبعاثات المركبات مثل المركبات العضوية المتطايرة وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والجسيمات من حرق نفايات المستشفيات بشكل كبير في إجمالي الانبعاثات.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن حرق النفايات السريرية في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 5.C.1.b.iii).

2.4.1.4. حرق النفايات (الزراعية) في الهواء الطلق

يغطي هذا القسم تقليل حجم النفايات الصغيرة (الزراعية) عن طريق الحرق في الهواء الطلق. لا يشمل حرق القشور أو حرائق الغابات أو حرق الإطارات المطاطية أو نفايات الزيت في المزارع. ومن الأمثلة على المخلفات الزراعية التي يمكن حرقها هي بقايا المحاصيل (مثل محاصيل الحبوب والبازلاء والفول وفول الصويا وبنجر السكر ولفت البذور الزيتية وما إلى ذلك)، والخشب، وبقايا التقليم والقطع والأوراق، والبلاستيك والنفايات العامة الأخرى. غالبًا ما يستخدم القش والخشب كوقود لإحراق النفايات الزراعية في الهواء الطلق. يصعب حرق فضلات الدواجن والحيوانات إلا في ظل ظروف خاضعة للرقابة.

أحد الاهتمامات الرئيسية المتعلقة بحرق النفايات الزراعية هو انبعاث الدخان / الجسيمات. من المحتمل أن تكون الملوثات العضوية الدقيقة السامة مثل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والديوكسينات موجودة في الانبعاثات. في كثير من الحالات، يكون الاحتراق بطيئًا وغير فعال، وبالتالي فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والمركبات العضوية المتطايرة تكون أكثر أهمية من انبعاثات أكاسيد النيتروجين. من المحتمل أن ينتج عن حرق البلاستيك انبعاثات سامة بشكل خاص، مثل الديوكسينات والمركبات العضوية المكلورة الأخرى والسيانيد.

تعتمد الانبعاثات الناتجة عن المحارق المفتوحة على عدد من العوامل.
أهم المتغيرات هي نوع النفايات المحترقة ومحتوى الرطوبة في النفايات. تؤثر درجة الحرارة المحيطة وظروف الرياح وكثافة / تراص وتماسك كوم النفايات أيضًا على ظروف الاحتراق ومن ثم الانبعاثات. يتم حرق النفايات الزراعية في الهواء الطلق على الأرض أو في محارق ستارة هوائية أو في حفر في الأرض أو في براميل مكشوفة أو حاويات / سلال شبكية سلكية.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات من المحارق المفتوحة للنفايات في دليل جرد انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 5.C.2).

2.4.2. التخلص من النفايات في مواقع الطمر

مواقع طمر النفايات الصلبة البلدية أو مكبات النفايات الصحية هي مواقع تتم فيها إدارة النفايات الصلبة البلدية لمنع أو تقليل الآثار الصحية والبيئية. يتم طرح النفايات في خلايا مختلفة ضمن موقع الطمر ويتم تغطيتها بالتربة يوميًا؛ لدى العديد منها أنظمة مراقبة بيئية للمراقبة وتجميع العُصارة وتجميع غاز المكب. يتم إنشاء مواقع طمر النفايات الصناعية بطريقة مماثلة لمواقع طمر النفايات الصلبة البلدية، ولكنها تستلم النفايات الناتجة عن النشاط الصناعي مثل المصانع والمطاحن والمناجم. وبعد وضعها في مكب النفايات، تتحلل النفايات العضوية (مثل الورق وبقايا الطعام وبقايا تقليم الفناء) مبدئيًا بواسطة البكتيريا الهوائية. وبعد استنفاذ الأكسجين، تصبح النفايات المتبقية متاحة للاستهلاك من قبل البكتيريا اللاهوائية التي تكسر المواد العضوية إلى مواد مثل السليلوز والأحماض الأمينية والسكريات.

يتم تكسير هذه المواد بشكل أكبر من خلال التخمير إلى غازات ومركبات عضوية قصيرة السلسلة تشكل ركائز لنمو البكتيريا الميثانية. تقوم هذه البكتيريا اللاهوائية المنتجة للميثان بتحويل منتجات التخمير إلى مواد عضوية ثابتة وغاز حيوي يتكون من حوالي 50٪ من ثاني أكسيد الكربون الحيوي و50٪ ميثان من حيث الحجم.

يحتوي الغاز الحيوي لطمر النفايات أيضًا على كميات ضئيلة من NMVOC وVOC التي تنتج إما عن تحلل المنتجات الثانوية أو تطاير النفايات القابلة للتحلل. إن الميثان وثاني أكسيد الكربون هما المكونان الأساسيان لتوليد غازات مكبات النفايات وانبعاثاتها. بالإضافة إلى ذلك، لا يتم تقدير انبعاثات NMVOC والمركبات العضوية المتطايرة لأنها انبعاثات بكميات ضئيلة.

انبعاثات N_2O الناتجة عن التخلص من حمأة الصرف الصحي وتطبيقها على مكبات النفايات لا يتم تصنيفها بشكل صريح كجزء من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من مكبات النفايات. من المتوقع أن تكون انبعاثات N_2O من حمأة الصرف الصحي المطبقة في مكبات النفايات كغطاء يومي أو للتخلص منها صغيرة نسبيًا. لذلك، يتم تقدير معدل تولد الميثان وانبعاثاته فقط لمكبات النفايات في قطاع النفايات.

إن توليد الميثان والانبعاثات من مكبات النفايات هو دالة لعدة عوامل، بما في ذلك: **(1)** إجمالي كمية النفايات في المكان، وهو إجمالي النفايات التي يتم طمرها سنويًا على مدى العمر التشغيلي لمكبات النفايات؛ **(2)** خصائص مكبات النفايات المستقبلة للنفايات (على سبيل المثال، تكوين النفايات في المكان، الحجم، المناخ، مادة الغطاء)؛ **(3)** كمية الميثان التي يتم استعادتها وحرقها أو استخدامها لأغراض الطاقة؛ و**(4)** كمية الميثان المؤكسدة عندما يمر غاز المكب عبر مادة الغطاء الى الغلاف الجوي.

يتميز كل مكب بخصائص فريدة، ولكن جميع المكبات المدارة لها ممارسات تشغيل متشابهة بما في ذلك استخدام مادة تغطية يومية ومتوسطة على النفايات التي يتم التخلص منها في مكب النفايات لمنع الروائح وتقليل المخاطر على الصحة العامة. واستنادًا إلى الأدبيات الحديثة، يمكن أن يؤثر النوع المحدد لمواد الغطاء المستخدمة على معدل أكسدة غاز المكب. إن مواد الغطاء الأكثر استخدامًا هي التربة والطين والرمل. تسمح بعض الدول أيضًا باستخدام النفايات الخضراء والأقمشة والمواد المشتقة من النفايات وحمأة الصرف الصحي أو المواد الصلبة الحيوية والتربة الملوثة كغطاء يومي. يبدأ إنتاج الميثان عادةً بعد عام أو عامين من التخلص من النفايات في المكبات ويستمر لمدة 10 إلى 60 عامًا أو أكثر حيث تتحلل النفايات القابلة للتحلل بمرور الوقت.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن التخلص من النفايات في مكبات النفايات في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 5.A).

2.4.3. معالجة المياه العادمة (مياه الفضلات)

في معظم الحالات، تكون معالجة المياه العادمة مصدرًا غير مهم لملوثات الهواء. ومع ذلك، في المناطق الحضرية تكون انبعاثات NMVOC من محطات معالجة مياه الصرف ذات أهمية محلية.
الأنشطة التي يتم أخذها في الاعتبار في هذا القطاع هي محطات المعالجة البيولوجية والمراحيض (صهاريج تخزين الفضلات البشرية الموجودة تحت ملاجئ خشبية جيدة التهوية). تعتبر محطات المعالجة البيولوجية ذات أهمية ثانوية بالنسبة للانبعاثات في الهواء، وأهم هذه الانبعاثات هي غازات الاحتباس الحراري (ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز). تشمل ملوثات الهواء NMVOC وNH_3؛ ومع ذلك، فإن مساهمتها في إجمالي الانبعاثات ضئيلة للغاية وذات أهمية محلية. تعتبر المراحيض عمومًا مصدرًا ثانويًا للانبعاثات أبرزها (NH_3) من عملية التبخر الحرة. ويعتمد انبعاث NH_3 من المراحيض على كمية وشكل مركبات النيتروجين في الفضلات البشرية، وكذلك على الظروف الجوية.

يمكن أن تنتج عمليات معالجة مياه الصرف الصحي انبعاثات ميثان وأكسيد النيتروز بشرية المنشأ. تتم معالجة المياه العادمة من المصادر المنزلية والصناعية لإزالة المواد العضوية القابلة للذوبان، والمواد الصلبة العالقة، والكائنات المسببة للأمراض، والملوثات الكيميائية. قد تحدث المعالجة إما في الموقع، في الغالب من خلال أنظمة الصرف الصحي أو محطات التعبئة، أو خارج الموقع في أنظمة المعالجة المركزية. قد تشتمل أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي المركزية على مجموعة متنوعة من العمليات، بدءًا من أحواض الاكسدة إلى تكنولوجيا المعالجة المتقدمة من الدرجة الثالثة لإزالة المغذيات.

تتم إزالة المواد العضوية القابلة للذوبان بشكل عام باستخدام العمليات البيولوجية التي تستهلك فيها الكائنات الحية الدقيقة المادة العضوية للتغذية والنمو. وتتم إزالة الكتلة الحيوية الناتجة (الحمأة) من مياه الصرف قبل تصريفها إلى مجرى الدفق. يمكن للكائنات الدقيقة أن تحلل حيويًا للمواد العضوية القابلة للذوبان في مياه الصرف في الظروف الهوائية أو اللاهوائية، حيث تنتج الحالة الأخيرة غاز الميثان.

أثناء التجميع والمعالجة، قد تتم إدارة مياه الصرف الصحي بشكل عرضي أو متعمد في ظل ظروف لاهوائية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتحلل الحمأة بيولوجيًا بشكل أكبر في ظل الظروف الهوائية أو اللاهوائية. وقد ينتج أيضًا N_2O من معالجة مياه الصرف المنزلي أثناء كل من النترجة ونزع النتروجين من N الموجود على شكل يوريا أو NH_3 أو بروتينات. يتم تحويل هذه المركبات إلى نترات (NO_3) من خلال عملية النترجة الهوائية. تحدث عملية نزع النتروجين في ظل ظروف نقص الأكسجين (بدون أكسجين حر) وتتضمن التحويل البيولوجي للنترات إلى غاز N2. يمكن أن يكون أكسيد النيتروز منتجًا وسيطًا لكلتا العمليتين ولكنه يرتبط عادةً بنزع النتروجين. تشير الأبحاث الحديثة إلى أن الانبعاثات الأعلى من أكسيد النيتروز قد تنشأ في الواقع من عمليات النترجة. ويتمثل العامل الرئيسي في تحديد إمكانية توليد الميثان من المياه العادمة في كمية المواد العضوية القابلة للتحلل في مياه الصرف.

بشكل عام، تحدث انبعاثات الملوثات العضوية الثابتة في الهواء وكذلك NMVOC وCO وNH_3 من محطات معالجة مياه الصرف، ولكنها في الغالب غير مهمة بالنسبة لإجمالي الانبعاثات المحلية. ومع ذلك، قد تكون انبعاثات NMVOC من محطات معالجة مياه الصرف في الهواء كبيرة في بعض الحالات في المناطق الحضرية وقد تساهم بشكل كبير في الانبعاثات على المستوى المحلي. إن الانبعاثات من محطات المعالجة البيولوجية هي غازات الاحتباس الحراري: ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز. تنبعث أيضًا كميات صغيرة من NH_3 وNMVOC. الانبعاثات من أحواض التعفين هي في الأساس NH_3 وكميات صغيرة من الميثان.

تتوفر الطرق والبيانات التفصيلية اللازمة لتقدير الانبعاثات الناتجة عن معالجة المياه العادمة في دليل حصر انبعاثات ملوثات الهواء في برنامج EMEP/EEA (NFR الفقرة 5.D).

3. من جرد الانبعاثات إلى تقييم جودة الهواء والتنبؤ

يتطلب تقييم جودة الهواء تخمين جودة الهواء في الأوقات والمواقع التي تكون فيها الرصد والمراقبة غير كافية أو غير موجودة. في كثير من الحالات، يتعلق التقييم بتخمين التوزيع المكاني للملوثات بمتوسط فترات زمنية على أساس شهري أو موسمي أو سنوي. في هذه الدراسات، تتيح خرائط تركيز الملوثات تحديد المناطق ذات التركيز العالي، وعندما تقترن بالتوزيع السكاني فإنها توفر رؤية قيمة حول التعرض لهذه الملوثات. بالإضافة إلى ذلك، تسمح بعض أدوات النمذجة الموضحة أدناه باستكشاف سيناريوهات «ماذا لو»، وبالتالي توفير إطار عمل فعال للتخفيف من تأثير هذه الملوثات وإعلام صانعي السياسات والتخطيط.

يُعدّ التنبؤ بجودة الهواء أحد الأشكال المهمة لتقييم جودة الهواء، والذي يستلزم التنبؤ بجودة الهواء بدءًا من مجموعة من الشروط الأولية. يعتبر التنبؤ الدقيق والموثوق بجودة الهواء مكونًا رئيسيًا لنظام إدارة جودة الهواء الذي: **(1)** يوفر تنبيهات صحية فعالة للسكان المُعرّضين للخطر، **(2)** يكمل برامج التحكم في الانبعاثات التقليدية، **(3)** يُمكّن التخطيط التشغيلي، و**(4)** يجعل الاستجابة للطوارئ أكثر فعالية. وتشمل أمثلة تدابير الرقابة الحكومية تقييد حركة المرور وإغلاق المصانع والمعامل مؤقتًا. ويتضمن تحسين التنبؤ بجودة الهواء أيضًا التنبؤ على مدى فترة زمنية أطول، مما يسمح بالاستعداد الأفضل للأحداث الشديدة.

يهدف هذا الفصل إلى توفير فهم أساسي لتقييم تشتت التلوث وأدوات التنبؤ به لمساعدة البلدان على اتخاذ خيارات سليمة وأكثر ملاءمة للإجابة على سؤال معين فيما يتعلق بأداة تقييم جودة الهواء. وبعد تقديم مفاهيم تقييم جودة الهواء والتنبؤ بها، تمت مناقشة أهمية قياسات جودة الهواء.

ويتبع ذلك تقديم أنواع مختلفة من البيانات، بما في ذلك الانبعاثات، التي تتطلبها أدوات نمذجة جودة الهواء. وبعد ذلك، يتم تقديم مناهج مختلفة للتنبؤ بجودة الهواء، متبوعة بعرض طريقتين للتقييم والتنبؤ: انحسار استخدام الأراضي (LUR)، والتشتت العددي القائم على أساس مادي. إن طريقة دراسة انحسار استخدام الأراضي هي طريقة إحصائية مستخدمة على نطاق واسع تربط الملاحظات ببيانات استخدام الأراضي لاستنتاج التوزيع المكاني لتركيز الملوث. أما طريقة التشتت العددي القائمة على أساس مادي فهي الأداة المختارة للتنبؤ بتوزيع التركيز المكاني والزماني عند توفر الانبعاثات والبيانات الهندسية والأرصاد الجوية.

يتم تقديم عرض أكثر تفصيلاً وشمولاً لتقييم جودة الهواء ونهج التنبؤ وأدوات النمذجة المرتبطة به في دليل منفصل[2]، حيث تتم مقارنة الطرق المختلفة من حيث قابليتها للتطبيق ومتطلبات البيانات والدقة المكانية والزمانية والتكلفة المحسوبة.

[2] دليل نمذجة نوعية الهواء والتنبؤ به لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

3.1. قياسات جودة الهواء

يعد توافر قياسات دورية لجودة الهواء متباعدة بشكل مناسب أمرًا أساسيًا لتحسين دقة تقييم جودة الهواء والتنبؤات. تشير قياسات جودة الهواء بشكل أساسي إلى التقييمات الأرضية أو القريبة من الأرض لتركيز الملوثات في البيئة المحيطة. تعمل قياسات جودة الهواء أيضًا على تحسين قدرة أدوات النمذجة لتحديد مصادر الملوثات (أين ومتى)، وتحديد مساهمة أنواع المصادر المختلفة (مثل حركة المرور والصناعة)، واستكشاف سيناريوهات «ماذا لو»، وتقييم استراتيجيات التخفيف والتخطيط للمستقبل، وكشف الأنماط السائدة والديناميكيات الأساسية. القياسات على مدى فترات زمنية طويلة ضرورية للتنبؤات المناخية مثل التنبؤات بسماكة طبقة الأوزون وانتشارها، ودرجة الحرارة وارتفاع مستوى سطح البحر.

3.2. البيانات المطلوبة لتقييم جودة الهواء والتنبؤ

يتضمن تقييم جودة الهواء النمذجة المكانية والزمانية لتشتت الملوثات. تتنبأ هذه النماذج الحاسوبية المتقدمة بتوزيع تراكيز الملوثات في المكان والزمان. ويعتمد اختيار نهج النمذجة وأنواع البيانات المطلوبة بدرجة كبيرة على الدقة المكانية والزمانية المرغوبة. يمكن ترتيب البيانات في الفئات التالية: **(أ)** الأرصاد الجوية، **(ب)** الانبعاثات، **(ج)** الهندسية (المباني)، **(د)** الجغرافية، **(هـ)** المراقبة والرصد (مثل قياسات جودة الهواء)، و**(و)** استخدام الأراضي.

يتطلب تقييم جودة الهواء بيانات للأرصاد الجوية، حيث أن تنبؤات الأرصاد الجوية هي نقطة البداية لأي تنبؤ لجودة الهواء فهي. تتنبأ توقعات الطقس بالخصائص الفيزيائية الحرارية للهواء التي تعتمد على الوقت والتي تدفع وتميز النقل المحلي للملوثات، وبالتالي، فإن دقة التنبؤ بجودة الهواء تعتمد جزئيًا على موثوقية التنبؤ بالطقس. ومن أجل إنتاج تنبؤات بالطقس بأكبر دقة ممكنة، عادةً ما يتم دمج مخرجات العديد من نماذج التنبؤ مع الخبرة والمعرفة المحلية، وبالتالي، فإن أكثر توقعات جودة الهواء دقة ممكنة هي تلك التي تتبع نهجًا مشابهًا.

جرد الانبعاثات - والذي هو الموضوع الرئيسي لهذا الدليل- يستخدم على نطاق واسع كمدخل لنماذج جودة الهواء. وهذا ينطبق بشكل خاص على النماذج الفيزيائية التي تمثل تشتت الملوثات الناشئة من مصادر الانبعاث. في هذه النماذج، يتم دمج جرد الانبعاث من خلال تحديد مواقع مصادر الانبعاث ومعدل انبعاثها كدالة للوقت. وتشمل مصادر الانبعاثات المباني السكنية والمباني الصناعية ومحطات الطاقة والمولدات وحركة المرور والزراعة وحرائق الغابات. واعتمادًا على حجم الدراسة والدقة المكانية المحددة، يمكن تمثيل مصادر الانبعاث بشكل فردي (إذا كان مجال الدراسة هو وادي ضيق) أو كمصادر منطقة أو خط (إذا كان مجال الدراسة بلدًا أو أكبر). يستخدم تقييم جودة الهواء المبني على أدوات النمذجة الإحصائية - مثل نماذج LUR - عادةً مسافات عن مصادر الانبعاثات أو مراكز الانبعاثات العالية مثل الطرق السريعة أو المنشآت الصناعية.

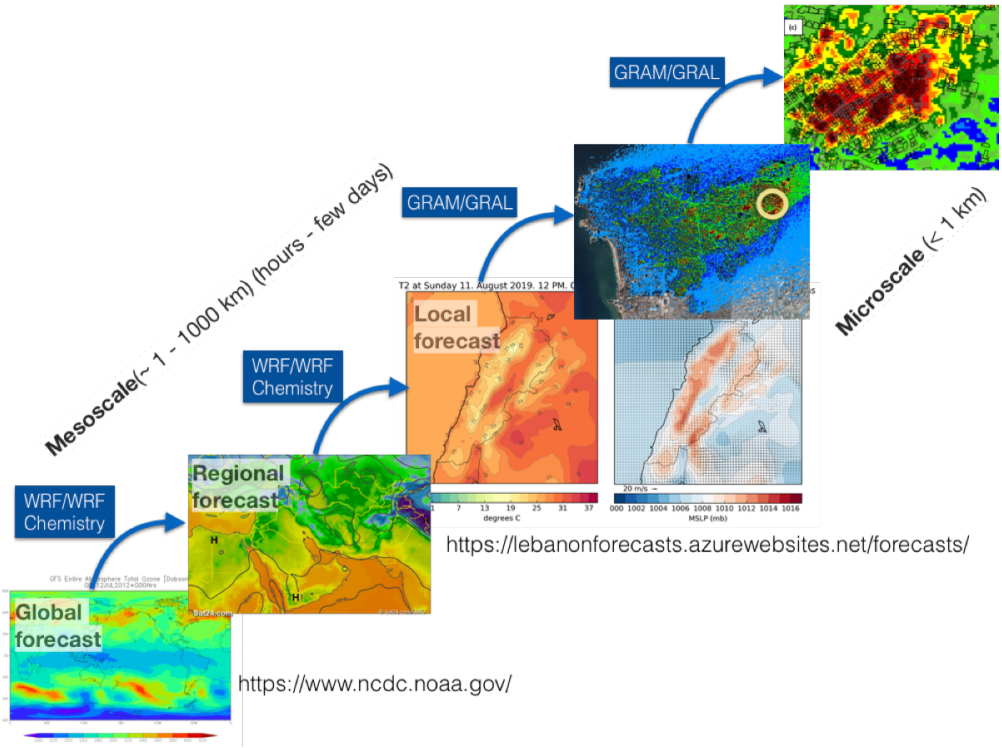
تؤخذ نماذج تقييم جودة الهواء والتنبؤ أيضًا كمدخلات التمثيل الرقمي الطبوغرافي (التضاريس) بالإضافة إلى الحواجز الأخرى مثل المباني. يجب أن يكون دقة هذه التمثيلات متوافقًا مع مقياس الطول الذي تم تحديده بواسطة النموذج. يتم تحديد مقياس الطول هذا - إلى حد كبير - من خلال حجم المجال.

توفر أجهزة مراقبة جودة الهواء الأرضية قياسات مباشرة لتراكيز الملوثات على مستوى الأرض. عادة ما يتم أخذ القياسات الأرضية على أساس يومي أو يفضل على أساس كل ساعة. يعد التوزيع المكاني لمحطات المراقبة أمرًا أساسيًا عند استخدامه بواسطة أداة النمذجة لتحسين تقييم جودة الهواء. ويمكن أيضًا قياس الملوثات باستخدام الأقمار الصناعية والطائرات والمناطيد. تشمل الجوانب الأخرى دعم وتدريب العلماء المحليين في جمع البيانات، بما في ذلك البيانات الوصفية مثل ارتفاع أجهزة الاستشعار فوق الأرض، والمسافة من المباني والطرق ومصادر الانبعاثات. ومن أجل تمكين الحلول الإقليمية، يجب مشاركة البيانات بين أصحاب المصلحة.

تتطلب بعض الأساليب الإحصائية مثل LUR بيانات استخدام الأراضي. تصف بيانات استخدام الأراضي استخدام الأرض لمختلف الأنشطة البشرية بما في ذلك الأنشطة الصناعية والزراعية والسكنية والترفيهية وغيرها.

3.3. أدوات النمذجة لتقييم جودة الهواء والتنبؤ

يمكن تصنيف أدوات النمذجة بناءً على قياسات الطول والوقت التي تتعامل معها. يوضح **الشكل 1** مثالاً على أدوات التنبؤ بالأرصاد الجوية المختلفة المستخدمة لحل قياسات الطول المختلفة.



الشكل 1 مثال على الأدوات المختلفة المستخدمة لحل مقاييس الرسم المختلفة.

توفر التوقعات العالمية - مثل نظام التنبؤ العالمي (GFS) الذي تنتجه المراكز الوطنية للتنبؤ البيئي (NCEP) - تنبؤات بالطقس لمدة تصل إلى 16 يومًا في المستقبل بدقة تبلغ 28-70 كم. يتم تنفيذ التنبؤ التشغيلي الإقليمي والمحلي وصولاً إلى مقياس ~ كيلومتر واحد باستخدام أدوات مثل نموذج أبحاث الطقس والتنبؤ به (WRF)[3]. تتضمن هذه الأدوات تنبؤات (GFS) ونموذج النقل الرقمي بناءً على القوانين الفيزيائية المسيطرة، مع السماح باستيعاب البيانات من المراقبة والرصد.

تم استخدام تقنيات مختلفة متفاوتة التعقيد للتنبؤ بالطقس وجودة الهواء. تنقسم طرق التنبؤ بجودة الهواء إلى فئتين رئيسيتين: حتمية واحتمالية. في حين أن التنبؤ الحتمي يتنبأ بحدث معين، مثل العاصفة التي ستحدث في وقت وموقع محددين، فإن التنبؤ الاحتمالي ينتج عنه مجموعة من الأحداث المحتملة لكل منها احتمال قابل للقياس (أو عدم اليقين). ونظرًا للعديد من أوجه عدم اليقين وفي بعض الحالات محددات في المراقبة والرصد، يستخدم الباحثون الطرق الاحتمالية بشكل متزايد لتحديد أوجه عدم اليقين المرتبطة بالتنبؤات.

تنشأ حالات عدم اليقين هذه من نقص المعرفة الكاملة والدقيقة بظروف الطقس المحلية والقياسات (مثل انبعاثات وتراكيز التلوث المحلي) وظروف الحدود (مثل الانتقال بعيد المدى[4]) بالإضافة إلى عوامل النموذج مثل عامل الخلط. ويمكن بدلاً من ذلك تقسيم نماذج تقييم جودة الهواء والتنبؤ بها إلى ثلاث فئات: التنبؤ المحتمل، والأساليب العددية القائمة على أسس واقعية، والأساليب الإحصائية.

تشير الأساليب المبنية على أسس فيزيائية إلى الطرق التي تحل عدديًا المعادلات التي تحكم الحفاظ على الكتلة والزخم. من ناحية أخرى، تعتمد الأساليب الإحصائية على أدوات مثل الانحدار الخطي (LR)، وتحليل المكون الرئيسي (PCA)، وتحليل الاتجاه الإحصائي، والشبكات العصبية، والشبكات العصبية الاصطناعية والتعلم العميق مؤخرًا. ويمكن أن تكون النماذج العددية القائمة على أساس واقعية حتمية بمعنى أنها تنتج مخرجات ثابتة لمدخل معين، أو عشوائية بمعنى أنها تنتج مجموعة احتمالية من الحلول التي تنشأ من عدم اليقين في عوامل النموذج.

[3] https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model
[4] التركيزات والانبعاثات في المصادر البعيدة ونقلها: الانتشار والاختلاط والكيمياء.

3.4. طرق التنبؤ

كما ذكرنا سابقًا، يُعدّ التنبؤ بجودة الهواء نوعًا من التقييم المتنبئ بجودة الهواء في المستقبل، بدءًا من مجموعة من الشروط الأولية. فيما يلي عرض موجز لثلاث فئات من مناهج التنبؤ بجودة الهواء.

3.4.1. التنبؤ الاحتمالي

التنبؤ الاحتمالي هو طريقة نوعية تعتمد على ظروف الأرصاد الجوية مثل التخفيف الجوي وسعة التهوية لإصدار تحذير عندما يُتوقع أن تكون هذه الظروف مماثلة لتلك المرتبطة بالتلوث الخطير (Tong and Wan, 2001).

تتضمن زيادة موثوقية هذه التنبؤات جمع البيانات عن مستويات التلوث لظروف الأرصاد الجوية المختلفة على مدى سنوات عديدة. وتعتبر طريقة التنبؤ الاحتمالي مؤشراً جيداً عندما تكون أنماط الطقس مماثلة لأنماط السنوات السابقة.

إذا كانت الأنماط مختلفة - على سبيل المثال بسبب الاحتباس الحراري- فستتأثر دقة التوقعات. يعتمد توقع جودة الهواء باستخدام هذه الطريقة على ربط مستويات التلوث المرتفعة بظروف أرصاد جوية محددة. وهذا يتطلب استخدام مخططات متطورة لتحديد أنماط الطقس المتكررة المصاحبة لمستويات التلوث العالية. يتميز التنبؤ الاحتمالي بأنه بسيط نسبيًا ومناسب من حيث التكلفة. نظرًا لأنها لا تعتمد على قياسات التلوث أو الانبعاثات فإن لهذه الطريقة عيب كونها نوعية وأقل دقة من الطرق الكمية التي ستتم مناقشتها تاليا.

3.4.2. الأساليب الإحصائية

تتراوح طرق التنبؤ الإحصائي من الأساليب الإحصائية الكلاسيكية مثل LR إلى الأساليب الحديثة للذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (Kaya & Gündüz Öğüdücü, 2020). إن هذه الطرق قادرة على التنبؤ بمدى قصير وقصير- طويل (24 ساعة) وتمكن من التنبؤ بعدة ملوثات من معرفة ملوث واحد فقط.

تشمل الأساليب الإحصائية كلا من الطرق الخطية واللا خطية ويمكن تمييزها بسهولة عن النماذج الحتمية من خلال خصائصها العشوائية، والتي تنشأ من معالجة أخطاء النمذجة والقياس على التوالي كنظام وعشوائية مراقبة تخضع لتوزيعات احتمالية معينة (Sawaragi et al., 1977). أثبتت مناهج التعلم الآلي من النماذج الإحصائية تفوقها على النماذج الحتمية في العديد من دراسات تلوث الهواء(Kaya & Gündüz Öğüdücü, 2020) وثبت أيضًا أنها متفوقة على الأساليب الإحصائية التقليدية مثل الانحدار المتعدد ونماذج الانحدار الذاتي والتصنيف وأشجار الانحدار (Yi & Prybutok, 1996; Chaloulakou et al., 2003).

يمكن تحديد الارتباط بين مستويات الملوثات ومتغيرات الأرصاد الجوية والقياسات الهوائية من خلال تحليل مجموعات البيانات التاريخية باستخدام حزم التحليل الإحصائي القياسية. تمكّن طرق مثل LR وPCA (Bai et al., 2018) من تقدير معايير النموذج. كمثال على التحليل متعدد المتغيرات، والذي يستخدم تحليل الارتباط وتحليل PCA والتحليل العنقودي (Núñez-Alonso et al., 2019) في تفسير ونمذجة بيانات تلوث الهواء (NO_x, O_3 ،PM_{10}) التي تم جمعها من 22 محطة في مدينة مدريد خلال الفترة 2010-2017. تتيح تحليلات الاتجاهات الإحصائية، على سبيل المثال باستخدام مقاربي مان كنيدال وسين لتقدير الانحدار (Mann Knedall and Sen's slope)، إمكانية التنبؤ بالملوثات (PM_{10} , $PM_{2.5}$ ،SO_2 ،CO, NO_2) في فاراناسي / الهند عند دمجها مع نموذج متوسط الانحدار الذاتي المتحرك المدمج (ARIMA)، كما تم عرضه في Jaiswal (2018).

في Ochando (2015)، تم تقديم تنبؤ بالتلوث في الوقت الفعلي مع إمكانية الإنذار المبكر للتنبؤ بالملوثات CO, NO, $PM_{2.5}$, NO_2 في ثلاثة مواقع مختلفة في فالنسيا، إسبانيا. وتم تجريب نماذج الانحسار في Ochando (2015) باستخدام **(1)** ميزات الأرصاد الجوية (درجة الحرارة والضغط والرطوبة النسبية وسرعة الرياح والمطر)، **(2)** ميزات التقويم (السنة والشهر، واليوم في الشهر، واليوم في الأسبوع، الساعة)، **(3)** سمات كثافة حركة المرور (مستويات حركة المرور في المحطات المحيطة) و**(4)** سمات التلوث (مستويات التلوث في المحطات المستهدفة قبل 3 و24 ساعة). تستخدم النماذج الإحصائية لشجرة الانحدار والتصنيف (CART) متغيرات الأرصاد الجوية أو جودة الهواء التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بمستويات التلوث المحيط للتنبؤ بجودة الهواء في المستقبل بناءً على جودة الهواء الحالية وتوقعات الأرصاد الجوية. تم تقديم مثال في 2018 (Yoo et al.).

يعرض مثال على نموذج حديث للتنبؤ بجودة الهواء يستخدم التعلم المتعمق موجود في Kaya & Gündüz Öğüdücü (2020). يستخدم نموذج التعلم المتسلسل المرن العميق (DFS) مجموعة بيانات تتضمن بيانات التلوث لكل ساعة والأرصاد الجوية من أربع محطات في إسطنبول / تركيا بين عامي 2014 و2018، بالإضافة إلى بيانات حركة المرور. إن المرونة في النموذج تجعله قابلاً للتطبيق على بيانات السلاسل الزمنية. هذا على عكس نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية التقليدية (ANN) التي لا تتنبأ بالمعلومات المتسلسلة (Kaya & Gündüz Öğüdücü, 2020).

3.4.3. نماذج التشتت العددي القائمة على أسس مادية

تحدد هذه الطرق العلاقة بين تراكيز الملوثات ومصادر الانبعاث وعمليات الأرصاد الجوية والتغيرات الفيزيائية والكيميائية. هذه الطرق مضمونة عندما تكون عوامل النموذج محددة بحيث تكون المخرجات ثابتة عندما تكون المدخلات ثابتة.

يوجد في **الشكل 1** مجموعة أمثلة على طرق التشتت العددي القائمة على أساس مادي لمقاييس مختلفة. نموذج آخر شائع الاستخدام ويستخدم على نطاق واسع في آسيا هو نظام نمذجة جودة الهواء متعدد النطاقات (CMAQ) المجتمعي (Bai et al., 2018; Tong & Wan, 2001). وتجدر الإشارة أيضًا إلى الجهود الأخيرة تجاه الأساليب الهجينة التي تجمع بين التحليل الإحصائي والتنبؤ العددي القائم على أساس مادي. مثال على ذلك هو الطريقة المقدمة في Chen et al. (2015)، والتي تم استخدامها للتنبؤ بتركيزات PM_{10} اليومية في بكين / الصين في الترة من 1 يناير إلى 30 ديسمبر 2013. لقد تم استخدام بيانات جودة الهواء من 12 محطة في بكين للفترة 2000-2011 في الدراسة.

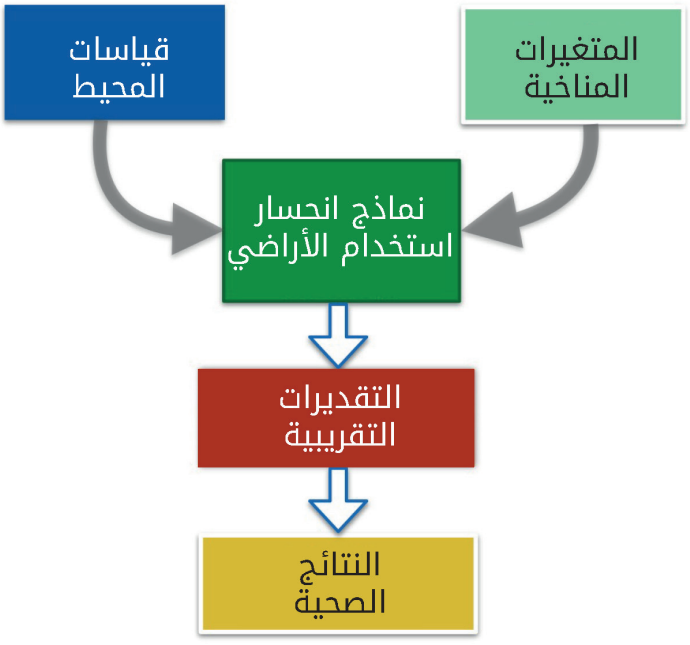
3.5. طرق التقييم

من أجل عرض الأساليب العددية الإحصائية والمادية لتقييم جودة الهواء والتنبؤ بها، نناقش أدناه طريقتين من أكثر طرق تقييم جودة الهواء استخدامًا في البيئات الحضرية. الأولى نموذج LUR للتقييم المكاني والثانية النموذج الحسابي للتشتت لاغرانج للتقييم المكاني والزماني. لاحظ أنه يمكن استخدام نموذج لاغرانج للتنبؤ بجودة الهواء.

3.5.1. نماذج انحدار استخدام الاراضي

إن انحسار استخدام الأراضي LUR هي طريقة مستخدمة على نطاق واسع لتقدير التعرض الفردي لتلوث الهواء المحيط في الدراسات الوبائية. تم تطبيق LUR بنجاح على نموذج التراكيز المتوسطة السنوية من NO_2 وNO_x و$PM_{2.5}$ والكربون الأسود ومحتوى السخام من $PM_{2.5}$ والمركبات العضوية المتطايرة في إعدادات مختلفة. عادةً ما يكون أداء الطريقة في المناطق الحضرية أفضل أو مكافئًا للطرق الإحصائية الجغرافية (مثل kriging) ونماذج التشتت. يجمع LUR بين مراقبة تلوث الهواء وتطوير النماذج العشوائية باستخدام متغيرات التوقع القائمة على GIS، لاحظ المخطط في **الشكل 2**. وعادة ما يتم إجراء حملات المراقبة مكانيًا في حوالي 20-100 موقع موزعة على منطقة الدراسة، وزمنياً عبر 1-4 مسوحات لمدة 1-2 أسبوع.

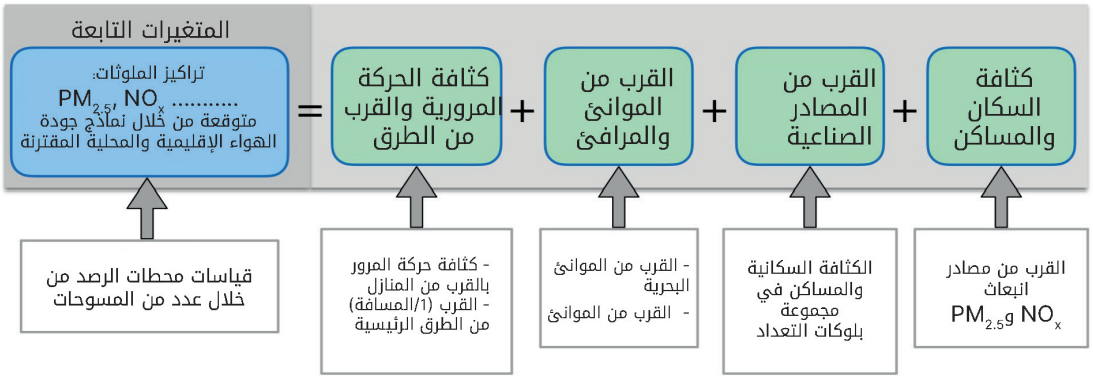
تتضمن متغيرات التوقع المستندة إلى نظم المعلومات الجغرافية المطلوبة في النماذج العشوائية تمثيلات حركة المرور، والكثافة السكانية، واستخدام الأراضي، والجغرافيا الطبيعية (مثل الارتفاع) والمناخ. يبدأ نموذج LR النموذجي متعدد المتغيرات لاستخدام الأراضي بمجموعة أولية من 30-80 من التنبؤات المحتملة (المتغيرات). يتم تحقيق الانخفاض في عدد التنبؤات من خلال استبعاد المتغيرات التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالمتغيرات الأخرى أو بسبب نقص القابلية للتفسير. وعادةً ما ينتهي الامر الى استخدام عدد أقل بكثير من المتغيرات في النموذج.



الشكل 2 نماذج LUR تستخدم قياسات للتنبؤ بتقديرات المحيط من خلال الارتباط بمتغيرات التخمين المكاني.

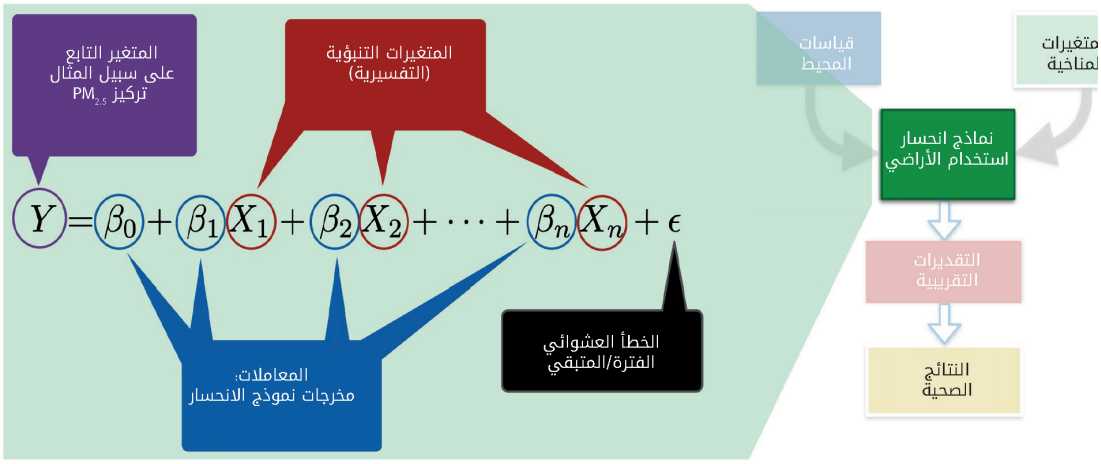
يتضمن إنشاء برنامج مراقبة تحديد ما إذا كان سيتم استخدام شبكات روتينية أو مصممة بشكل خاص للقياسات المحيطة. في حين أن استخدام الشبكات الروتينية (الموجودة مسبقًا) أقل تكلفة بشكل ملحوظ، إلا أنه لا يوفر إمكانية اختيار مواقع محطات المراقبة. ومن خلال الشبكات المصممة بشكل خاص، يتم تخصيص عدد مواقع المراقبة وتوزيعها وفقًا لمجال الاهتمام، بالإضافة إلى الجوانب الزمنية بما في ذلك عدد الحملات وتواريخها ومدتها.

يوضح **الشكل 3** بعض متغيرات التنبؤ شائعة الاستخدام والتي تقع في الفئات التالية: **(1)** حركة المرور، **(2)** كثافة السكان، **(3)** استخدام الأراضي، **(4)** الارتفاع والتضاريس، **(5)** الأرصاد الجوية، و**(6)** الموقع. يمكن الوصول إلى معظم هذه المتغيرات في إطار نظم المعلومات الجغرافية. ويجب الانتباه إلى عدم اليقين المرتبط بهذه المتغيرات الناشئة عن المشاكل المحتملة مع مجموعات البيانات الجغرافية مثل إمكانية الوصول والاكتمال والدقة. وتجدر الإشارة إلى أن التكنولوجيا تتقدم بالمعدل الذي يحل العديد من المشكلات التي تم مواجهتها سابقًا.



الشكل 3 في نماذج LUR يتم التعبير عن المتغيرات التابعة (التقديرات التقريبية) من حيث المتغيرات الموضحة على يمين علامة المساواة.

بشكل عام، تُستخدم تقنيات LR القياسية لتطوير نماذج التنبؤ. يظهر التمثيل الرياضي في **الشكل 4**. يتميز المعامل i المرتبط بالمتغير المستقل Xi بقيمة p والتي تقيس احتمالية المعامل. وكلما اقتربت قيمة p من الصفر زادت أهمية متغير التوقع في نموذج LUR. يتم قياس أداء النموذج الإجمالي باستخدام قيمة R التربيعية والتي تقيس مدى ملاءمة النموذج للتقييم على مدى 0-100. لملاءمة مثالية $R^2 = 1$.



الشكل 4 في نماذج LUR، يتم التعبير عن المتغيرات التابعة (Y) من حيث متغيرات التوقع (Xi، i = 1،2،...، n). مخرجات نموذج الانحدار هي المعاملاتβi والبيانات حول الخطأ ε.

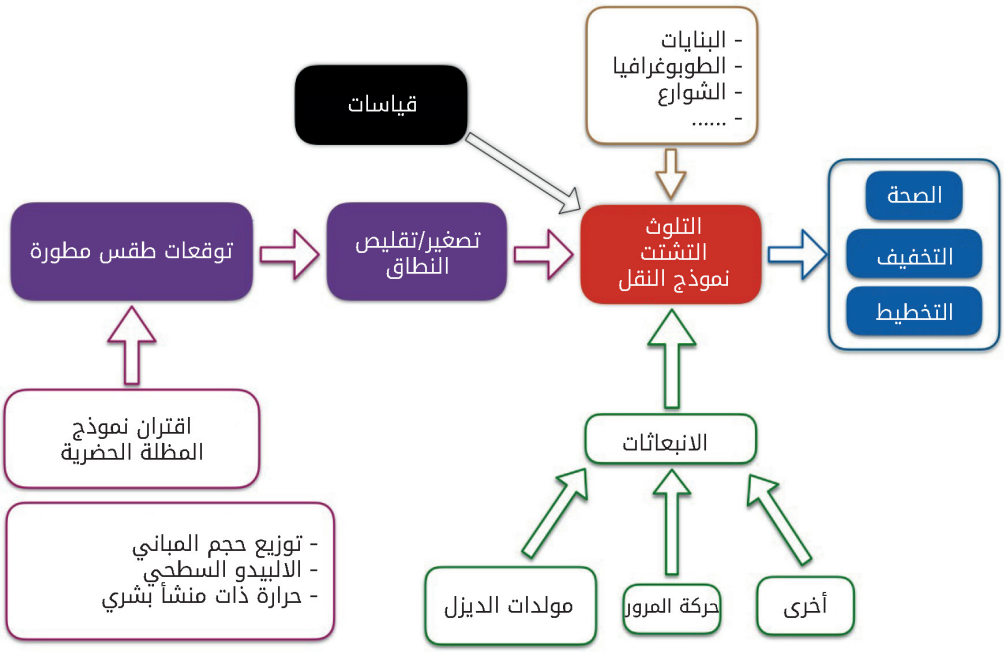
إن الميزة الرئيسية لنماذج LUR هي قدرتها على تحديد التباين الصغير في دراسات صحة المجتمع. بالإضافة إلى ذلك، فهي أقل مصادر من الطرق الأخرى، حيث أن بيانات استخدام الأراضي متاحة على نطاق واسع. ولا تزال نماذج LUR تواجه العديد من التحديات.

إنها تتطلب بيانات مراقبة دقيقة في عدد كبير من المواقع. كما أن افتقارها إلى القدرة على ربط مصادر محددة للانبعاثات بالتراكيز يعيق قدرتها على تطوير استراتيجيات السيطرة على التلوث. قد يؤدي تطبيقها في المناطق التي يعيش فيها جزء كبير من السكان في المباني الشاهقة إلى وقوع أخطاء خطيرة في تصنيف التعرض، لا سيما في المباني الشاهقة بالقرب من الطرق الرئيسية. غالبًا ما تستخدم نماذج LUR مناطق عزل دائرية. إن هذا يفرض مستوى معينا من الخواص والتي قد لا تكون ممثلة. لا يمكن نقل نماذج LUR من منطقة إلى أخرى عند استخدامها في الدراسات الصحية، كما أنها لا تعالج الجوانب متعددة الملوثات لتلوث الهواء، كذلك تفتقر إلى الدقة الزمنية اللازمة لدراسات التعرض على المدى القصير، بالإضافة إلى ذلك، يقدر تلوث الهواء الخارجي على عكس تلوث الهواء الداخلي. تركز الجهود البحثية الحالية والمستقبلية على معالجة بعض هذه التحديات بالإضافة إلى دمج بعض ظروف الأرصاد الجوية وبيانات الانبعاث في مجموعة متغيرات التنبؤ.

3.5.2. نماذج لاغرانج لحساب التشتت

على عكس الأساليب الإحصائية، تعتمد نماذج التشتت على المحاكاة الفيزيائية المكانية الزمانية[5] لنقل الكتلة والزخم والطاقة والأنواع الكيميائية.

يتم نقل الملوثات التي تنشأ من مصادر الانبعاث عن طريق الحل العددي لمعادلة النقل المرتبطة، الأمر الذي يتطلب معرفة بظروف الأرصاد الجوية. في حالة عدم وجود تفاعلات كيميائية، يخضع هذا النقل للانتشار (الخلط). ويتطلب حساب انتشار الجسيمات الملوثة معرفة السرعة الموضعية، بينما يتطلب حساب المزج معرفة انتشار الخلط المضطرب الموضعي، والذي يعتمد بدوره على مجال السرعة والخصائص الفيزيائية الحرارية الأخرى. بالإضافة إلى التمثيل الدقيق لمتغيرات الأرصاد الجوية المكانية والزمانية، يجب قياس المواقع ومعدلات الانبعاثات والجداول الزمنية لجميع مصادر الانبعاثات بشكل موثوق. يوضح **الشكل 5** كيف تلعب جميع المكونات التي تشكل نموذج التشتت.

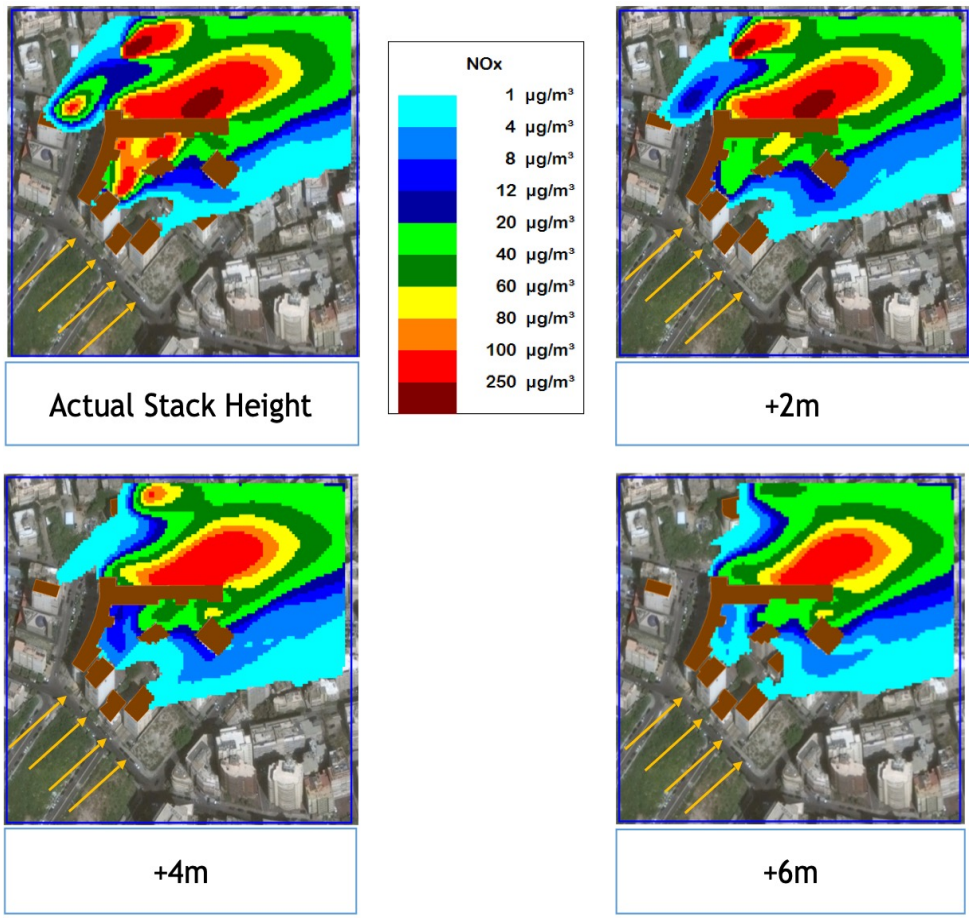


الشكل 5 مخطط يوضح المكونات التي تشكل نموذج التشتت.

[5] المكانية الزمانية تعني أن المتغيرات ممثلة في مساحة رباعية الأبعاد ضمن المحاور x، y، z، t.

تتنبأ نماذج التشتت بالتوزيع المكاني ثلاثي الأبعاد المتغير بمرور الوقت لتركيز الملوثات في بيئة محاكاة يتحكم فيها المستخدم. على هذا النحو، فهي تمكن من التحقيق في سيناريوهات «ماذا لو» واستكشاف استراتيجيات تخفيف الملوثات. على سبيل المثال، يمكن الإجابة على جميع الأسئلة التالية باستخدام نماذج التشتت: ما هو تعرض كل من يعيشون في الطابق الثامن؟ كيف سيؤثر رفع جميع مداخن الانبعاث بمقدار 5 أمتار على مستويات تلوث الأرض في ظل الظروف الجوية المختلفة؟ في السنوات الخمس المقبلة عندما يتم هدم 1000 مبنى وإقامة 1500، كيف يمكن تقليل التعرض؟ المثال في **الشكل 6**، حيث تمت دراسة تأثير تمديد ارتفاع مداخن ستة مولدات ديزل الى ارتفاع 30 مترًا فوق سطح الأرض كوسيلة لتقليل تعرض السكان الى اكاسيد النتروجين في أحد أحياء بيروت.

تكون النماذج الحسابية للتشتت ثلاثية الأبعاد إما لاغرانج أو أويلريان. بينما تحل نماذج أويلريان معادلات النقل على الشبكة، فإن نماذج لاغرانج تتبع الجسيمات في الوقت المناسب عندما تنتقل في مجال السرعة. هناك مزايا عديدة من استخدام نماذج لاغرانج على عكس نماذج أويلريان. تشمل هذه المزايا عدم الاضطرار إلى التعامل مع فترة الانتشار غير الخطية، والتي غالبًا ما يتم التعامل معها باستخدام مخططات عكس اتجاه الريح في طرق أويلريان.



الشكل 6 خرائط ملونة لتوزيع أكاسيد النيتروجين على ارتفاع 30 مترًا فوق سطح الأرض في أحد أحياء بيروت لارتفاعات مختلفة لمداخن المولدات.

بينما تتمتع نماذج التشتت بمزايا التنبؤ بالتوزيع ثلاثي الأبعاد المتغير بمرور الوقت لتراكيز الملوثات وتمكين استكشاف سيناريوهات «ماذا لو»، فإنها تواجه تحدي حالات عدم اليقين التي تؤثر على دقة نتائجها. وتشمل هذه أوجه عدم التأكد في **(1)** مصادر الانبعاث (المعدلات، والتوزيع المكاني، والتوزيع الزمني)، و**(2)** النطاق الضيق للخصائص الفيزيائية الحرارية (السرعة، ودرجة الحرارة، وما إلى ذلك)، و**(3)** معاملات الخلط. ويمكن تقليل حالات عدم اليقين هذه في بعض الحالات عن طريق تمثيل المراقبة في نموذج التشتت. لقد أصبح تمثيل البيانات وتقدير عدم اليقين أدوات لا غنى عنها تحول نمذجة التشتت إلى إطار تنبؤي قوي.

تجمع طريقة LUR بين مراقبة تلوث الهواء والنماذج العشوائية باستخدام متغيرات التنبؤ القائمة على نظم المعلومات الجغرافية. تتم المراقبة في 20-100 موقع موزعة على منطقة الدراسة وتقتصر مؤقتًا على 2-4 مسوحات لمدة 1-2 أسبوع لكل منها. يتم عرض قائمة بمتغيرات التنبؤ شائعة الاستخدام في **الجدول 1**. لاحظ أن متغيرات التنبؤ المكاني متوفرة في أدوات نظم المعلومات الجغرافية مثل ARCGIS أو QGIS، على الرغم من أنه يمكن تحسينها عن طريق أخذ القياسات. قد تتطلب بعض المتغيرات مجهودًا إضافيًا. بالنسبة لحركة المرور - على سبيل المثال- يتمثل التحدي في إمكانية الوصول إلى بيانات كثافة حركة المرور. لا تتوفر إحصاءات حركة المرور عادةً إلا لعدد صغير من الشوارع، خاصة للطرق الرئيسية والطرق السريعة. في حالة عدم وجود بيانات مفصلة، يمكن استخدام نماذج حركة المرور لتعيين تعداد حركة المرور للطرق الأخرى، وفي بعض المدن تتوفر بيانات نموذجية من سلطات النقل والطرق السريعة. بدلاً من ذلك، يمكن استخدام اطوال طرق ذات أنواع معينة.

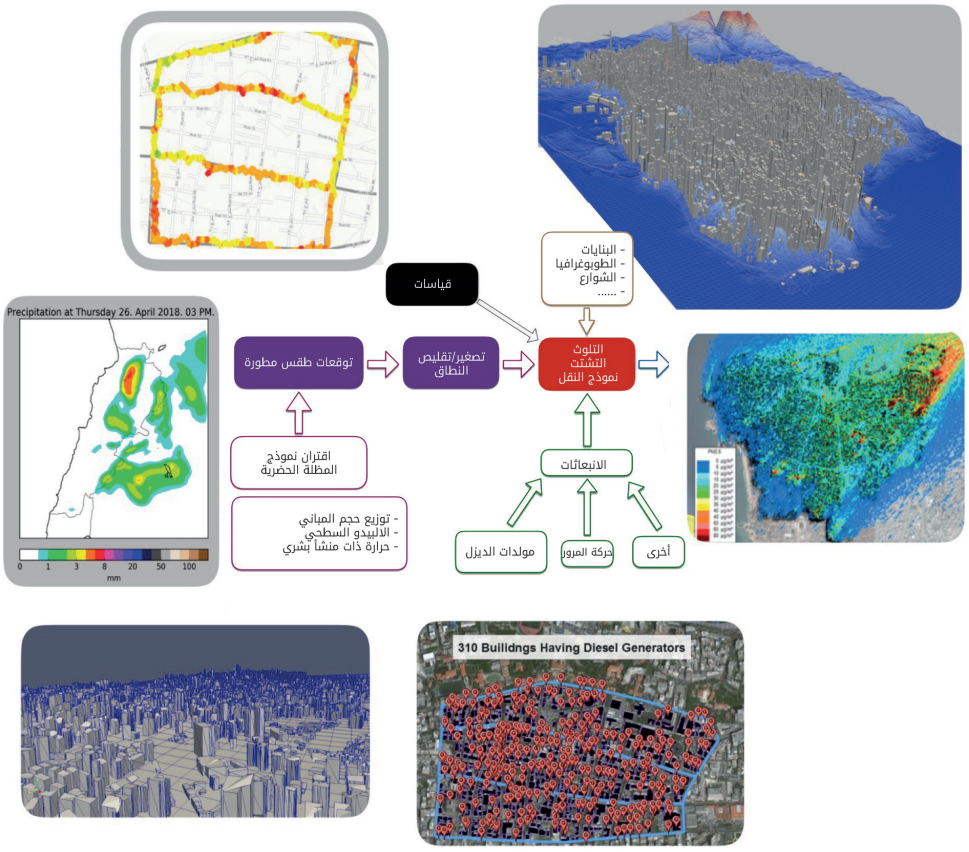
عادة ما يتم اخذ متغيرات التنبؤ في نماذج LUR ضمن مناطق الدائرية حول كل موقع مراقبة، باستخدام دالة المنطقة العازلة (buffer functions) في نظم المعلومات الجغرافية. يجب تحديد أبعاد المنطقة العازلة لمراعاة أنماط التشتت المعروفة، وتشمل هذه تأثيرات الطرق الرئيسية والمناطق الداخلية للمدينة. تنخفض تراكيز ملوثات الهواء المنبعثة من حركة المرور بشكل كبير بالابتعاد عن الطريق، على أية حال، فإن التباين يكون محدودا للمسافات لأبعد من 100 متر من طريق حضري رئيسي، أو 500 متر من طريق سريع رئيسي. وفي منحدرات الشوارع، قد يحدث تراكم ملحوظ لملوثات الهواء خاصةً في مواجهة الجانب المواجه للريح من المباني مما قد يؤدي إلى اختلاف كبير في التراكيز بين جانبي الطريق. تشمل الجوانب الأخرى لتلوث الهواء لمناطق المدينة الداخلية التكوين المحدود للأكسجين، وتكوين NO_2 من NO في منحدرات الشوارع، وانخفاض تركيز التلوث تقريبًا إلى مستويات المقبولة خلف صف من المباني المتصلة.

يؤخذ نموذج انتقال تشتت التلوث كمدخل للتمثيل الرقمي للمباني والتضاريس والشوارع، كما هو موضح في **الشكل 7** لحالة مدينة بيروت. كما يؤخذ كمدخل بيانات مصادر الانبعاث ومجالات السرعة المصغرة وغيرها من الخصائص الفيزيائية الحرارية مثل درجة الحرارة والكثافة. يمكن الحصول على مجالات السرعة ثلاثية الأبعاد المتغيرة بمرور الوقت وغيرها من الخصائص الفيزيائية الحرارية باستخدام أداة التنبؤ بالطقس. على سبيل المثال، يمكن أن يقترن نموذج WRF بنموذج المظلة الحضرية (UCM) لإنتاج تنبؤات أكثر دقة في البيئات الحضرية. يتطلب UCM وصفًا دقيقًا لتوزيع أحجام المباني، ودرجة السطوع السطحي، والحرارة المنبعثة من منشأ بشري.

تتطلب نمذجة تشتت التلوث على نطاقات أصغر (2-1000 م) مرحلة أخرى من التقليص لظروف الأرصاد الجوية متوسطة الحجم إلى مجال تمت معالجته جيدًا (يقصد بذلك أن التمثيل الهندسي للمجال يجب أن يلتقط بدقة جميع السمات ضمن الدقة المطلوبة). وبالتالي، لنمذجة التشتت على مقياس المظلة الحضرية (2-5 م)، يجب أن يلتقط التمثيل العددي للمجال بدقة التضاريس والمباني ضمن الدقة المطلوبة.

الجدول 1 متغيرات التنبؤ الشائعة الاستخدام في طرق LUR.

الفئة	المتغيرات المتوقعة
حركة المرور	كثافة الحركة المرورية
	نسبة
	عدد
	طول
غطاء	سكني
	غير سكني
	زراعي
	حدائق
	مسطحات مائية
	مساحة
المسافة	الطرق الرئيسية
	البحر
	المنش
	المصانع
السكان	عدد الابنية
	السكان
	الكثافة
الجغرافية	الجغرافية الطبيعية
	الارتفاع
الأرصاد	منطقة
	المناخ
النمذجة	ارتفاع أخذ العينات
الانبعاثات	إجمالي الانبعاثات الأولية من الملوثات
	مصادر انبعاثات الملوثات من المركبات على الطرق الرئيسية



الشكل 7 التمثيل الرقمي (وليس القياسي) للتضاريس والمباني والشوارع في مدينة بيروت

بالإضافة إلى المجالات الفيزيائية الحرارية والطوبوغرافيا الرقمية والمباني والشوارع، يجب أن يكون هناك جرد دقيق للانبعاثات حتى يعمل نموذج التشتت. يوصى ببناء جرد الانبعاثات ضمن نظم المعلومات الجغرافية بسبب المزايا العديدة المترتبة على ذلك. يبين المثال في **الشكل 8** عينة من البيانات التي تم جمعها عن مولدات الديزل في أحد أحياء بيروت.

الشكل 8 مثال على جرد الانبعاثات في بيئة نظم المعلومات الجغرافية يظهر مولدات الديزل في حي الحمرا في بيروت.

في المناطق التي يتعذر فيها الوصول إلى بيانات جرد الانبعاثات، يمكن استخدام الأساليب الإحصائية لاستنتاج بيانات الانبعاث. ومع ذلك، يجب تقييد هذه الأساليب واستكمالها. يُعد استكمال الاستدلال الإحصائي لبيانات الانبعاث بمعلومات مثل استخدام الأراضي أمرًا أساسيًا للتمثيل الواقعي للانبعاثات. على سبيل المثال، يجب أن يقر أي استدلال إحصائي للانبعاثات بحقيقة عدم وجود مصادر انبعاثات في المتنزهات. ويُعد تقييد بيانات الانبعاثات المستنبطة أمرًا ضروريًا أيضًا لضمان أن الكميات الرئيسية مثل إجمالي استهلاك الوقود ليست قليلة أو مُبالغ في تقديرها.

4. التوصيات

إن تقديرات الانبعاثات في منطقة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية إما غير متوفرة أو متاحة فقط لعدد قليل من البلدان، ويرجع ذلك بشكل رئيسي إلى عدم الالتزام بهذه المهمة أو عدم القدرة على القيام بها. وبدون قوائم جرد مفصلة وموثوقة للانبعاثات، فإن الفرصة ضئيلة لتطوير خطط استراتيجية لكيفية التعامل مع مشاكل تلوث الهواء على المستوى الإقليمي أو الوطني أو المحلي، إضافة إلى مراقبة تأثير مثل هذه الخطط. وتُعد قوائم جرد الانبعاثات عالية الجودة هي الأساس الذي يمكن من خلاله تطوير استراتيجيات محسَّنة لمنع الانبعاثات والسيطرة عليها على مستويات مختلفة.

على سبيل المثال، تتطلب معالجة القضايا الإقليمية مثل تكوين O_3 في طبقة التروبوسفير وزيادة الأحمال الجوية للجسيمات (خاصة $PM_{2.5}$) قوائم جرد عالية الجودة للانبعاثات من أجل تطوير استراتيجيات خفض منسقة إقليمياً. هذا صحيح بشكل خاص بالنظر إلى أن توزيع ملوثات الهواء في المنطقة يتأثر بشدة بالعواصف الترابية الموسمية.

لذلك، يقدم هذا الدليل إرشادات لإعداد وتطوير قوائم جرد وطنية للانبعاثات يمكن مقارنتها على المستوى الإقليمي. يوصى بوضع قوائم جرد للانبعاثات على المستويين الوطني والإقليمي في إطار مشترك للإبلاغ، كذلك أطر زمنية مشتركة.

1. على المستوى الوطني، يوصى بما يلي:

1. تجميع قوائم جرد الانبعاثات على فترات منتظمة بما في ذلك - على سبيل المثال لا الحصر- التغيرات من سنة إلى أخرى؛ إذا كان على البلدان الإبلاغ عن قوائم جرد الانبعاثات باستخدام الطرق الواردة في هذا الدليل الإرشادي، ويمكن للبلدان التي لديها بالفعل أنظمتها الخاصة لتجميع قوائم جرد الانبعاثات اتباع منهجية EMEP لتقديم تقديراتها النهائية باستخدام قواعد EMEP
2. الحصول على / تطوير معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد أو المنطقة للفئات الرئيسية
3. استخدام قوائم جرد الانبعاثات لتوجيه السياسات واللوائح الجديدة و/أو تقييم وتصميم اللوائح والضوابط للحد من الانبعاثات
4. استخدام قوائم جرد الانبعاثات لمراقبة فعالية السياسات واللوائح
5. استكمال نمذجة التشتت لمستويات البيئة المحيطة لملوثات المعايير بناءً على الانبعاثات المحسوبة مع بيانات الرصد

2. وعلى الصعيد الإقليمي، يوصى بما يلي:

1. استخدم هذا الدليل كإطار مشترك لقوائم جرد الانبعاثات ووضع برامج لضمان الجودة / مراقبة الجودة لزيادة جودة قوائم جرد الانبعاثات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية.
2. استخدم هذا الدليل لتقييم انتقال التلوث وتقييم المساهمات المحلية وإنشاء نظام إدارة الهواء.

المراجع

ATSDR (2004). "Toxicological Profile For Ammonia." Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Atkinson, R. (1991). Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of the NO_3 radical with organic compounds J. Phys. Chem. Ref., 20 (1991), pp. 459-507

Bai, L., Wang, J., Ma, X., & Lu, H. (2018, 4 17). Air Pollution Forecasts: An Overview. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(4), 780.

Brown, K., Bouhamra, W., Lamoureux, D., Evans, J., & Koutrakis, P. (2008). Characterization of particulate matter for three sites in Kuwait. Journal of the Air and Waste Management Association, 58(8), 994-1003.

Chaloulakou, A., Saisana, M., & Spyrellis, N. (2003, 9 1). Comparative assessment of neural networks and regression models for forecasting summertime ozone in Athens. Science of the Total Environment, 313(1-3), 1-13.

Chen, D., Xu, T., Li, Y., Zhou, Y., Lang, J., Liu, X., & Shi, H. (2015, 8 3). A Hybrid Approach to Forecast Air Quality during High-PM Concentration Pollution Period. Aerosol and Air Quality Research, 15(4), 1325-1337.

Contreras Ochando, L., Font Julián, C., & Contreras Ochando, F. (2015). Airvlc: An application for real-time forecasting urban air pollution C`esar Ferri.

Crooks J. L., W. E. Cascio, M. S. Percy, J. Reyes, L. M. Neas, and E. D. Hilborn (2016), The association between dust storms and daily nonaccidental mortality in the United States, 1993–2005, Environ. Health Perspect., 119, 210–218, doi:10.1289/EHP216.

Darmenova K, Sokolik IN, Shao Y, Marticorena B, and Bergametti G (2009), Development of a physically based dust emission module within the Weather Research and Forecasting (WRF) model: Assessment of dust emission parameterizations and input parameters for source regions in Central and East Asia, J. Geophys. Res. Atmos, 114, D14201, doi:10.1029/2008JD011236

Engelstaedter, S., Kohfeld, K.E., Tegen, I., & Harrison, S.P., (2003). Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: An evaluation using dust storm frequency data. Geophysical Research Letters, 30(6), 1294.

European Environment Agency (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.

Faust, B. C.: Photochemistry, fogs, and aerosols, Environ. Sci. Technol., 28, 5, 217, 1994

Finlayson-Pitts, B.J., & Pitts, J.N. (2000). Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. Academic Press.

Ginoux, P., J.M. Prospero, O. Torres, Chin, M., 2004, Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. Environ. Model. Software. 19, 113–128

Goudie, A. S. (2014), Desert dust and human health disorders, Environ. Int., 63, 101–113.

Hamidi, M.; Kavianpour, M.R.; Shao, Y. Numerical simulation of dust events in the Middle East. Aeolian Res. 2014, 13, 59–70

Huang, J., Minnis, P., Lin, B., Wang, T., Yi, Y., Hu, Y., Sun-Mack, S., & Ayers, K. (2006). Possible influences of Asian dust aerosols on cloud properties and radiative forcing observed from MODIS and CERES. Geophysical Research Letters, 33, L06824.

Jaiswal, A., Samuel, C., & Kadabgaon, V. (2018, 9 1). Statistical trend analysis and forecast modeling of air pollutants. Global Journal of Environmental Science and Management, 4(4), 427-438.

Kaya, K., & Gündüz Öğüdücü, Ş. 2020. Deep Flexible Sequential (DFS) Model for Air Pollution Forecasting. Scientific Reports 10(1), 3346.

Li, H., Qian, X., Hu, W., Wang, Y., & Gao, H. (2013). Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. Science of the Total Environment, 456, 212–221.

Maki, T., Puspitasari, F., Hara, K., Yamada, M., Kobayashi, F., Hasegawa, H., & Iwasaka, Y. (2014). Variations in the structure of airborne bacterial communities in a downwind area during an Asian dust (Kosa) event. Science of the Total Environment, 488, 75–84.

Meo, S., Al-Kheraiji, M., AlFaraj, Z., Alwehaibi, N., & Aldereihim, A. (2013). Respiratory and general health complaints in subjects exposed to sandstorm at Riyadh, Saudi Arabia. Pakistan Journal of Medical Sciences, 29(2).

Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O., 2001, A model for oredication of desert dust cycle in the atmosphere, J. Geophys. Res., 106, No. D16, 113-129

Nordic Council of Ministers. (2003). Cadmium Review.

Núñez-Alonso, D., Pérez-Arribas, L., Manzoor, S., & Cáceres, J. (2019). Statistical Tools for Air Pollution Assessment: Multivariate and Spatial Analysis Studies in the Madrid Region. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2019.

Pan, X. (2011). Sulfur Oxides: Sources, Exposures and Health Effects. In X. Pan, Encyclopedia of Environmental Health (pp. 290-296). Elsevier Inc.

Ren, Y., Ichinose, T., He, M., Arashidani, K., Yoshida, Y., Yoshida, S., Nishikawa, M., Takano, H., Sun, G., & Shibamoto T. (2014). Aggravation of ovalbumin-induced murine asthma by co-exposure to desert-dust and organic chemicals: An animal model study. Environmental Health, 13(1), 83.

Rosenfeld, D., Rudich, Y., & Lahav, R. (2001). Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98(11), 5975–5980.

Sawaragi, Y., Soeda, T., Yoshimura, T., ..., S.-I., & 1977, u. (n.d.). Statistical prediction of air pollution levels based on Kalman filtering method. Elsevier.

Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N. (2016). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 3rd Edition. Wiley.

Shao, Y., Fink, A. H., Klose, M., 2010, Numerical simulation of a continental scale Saharan dust event, J. Geophys. Res., 115, doi:10.1029/2009JD012678

Sun J., Zhao L., Zhao S., Zhang R., 2006, An integrated dust storm prediction system suitable for east Asia and its simulation results, Global and Planetary Change, 52, 71–87

Sokolik, I. N., Toon, O.B., & Bergstrom, R.W., (1998). Modeling the radiative characteristics of airborne mineral aerosols at infrared wavelengths. Journal of Geophysical Research, 103(D8), 8813–8826.

Tong, Y., & Wan, B. (2001). Methods of forecasting air pollution and their development at home and abroad. In Proceedings of the Sixth National Academic Conference on Environmental Monitoring B T, Chengdu, Sichuan, China, 10–12 October 2001.

U.S. EPA. 1996. U.S. EPA NPDES Permit Writers' Manual. Chapter 6: Water Quality-Based Effluent Limits. EPA-833-B-96-003. U.S. Environmental Protection Agency

US EPA, O. (2007). Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP).

UNEP (2019). Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch, Geneva, Switzerland.

Vickery, Kathryn & Eckardt, Frank & Bryant, Robert. (2013). A sub-basin scale dust plume source frequency inventory for southern Africa, 2005–2008. Geophysical Research Letters. 40. 5274-5279. 10.1002/grl.50968.

World Heath Organisation. (2010a). Exposure To Air Pollution: A Major Public Health Concern

World Health Organisation. (2010b). Health Effects of Black Carbon. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf

Yi, J., & Prybutok, V. (1996, 1 1). A neural network model forecasting for prediction of daily maximum ozone concentration in an industrialized urban area. Environmental Pollution, 92(3), 349-357.

Yoo, H., Lee, J., Shukla, S., & Park, J. (2018, 12 1). Classification and Regression Tree Approach for Prediction of Potential Hazards of Urban Airborne Bacteria during Asian Dust Events. Scientific Reports, 8(1), 11823.

Zender Charles S., Bian Huisheng, Newman David, 2003, "Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology", J. Geophys. Res., 108, NO. D1