دليل رصد جودة الهواء
وإدارة البيانات
لدول مجلس التعاون
لدول الخليج العربية

أذار
2022

UN environment programme 50 1972-2022

© 2021 الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية

يجوز إعادة نشر هذه الوثيقة كاملة أو أجزاء منها بأي شكل من الأشكال للأغراض التعليمية وغير الربحية دون الحصول على إذن من مالك حق النشر، شريطة الإشارة إلى المصدر. إن الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية ممتنة لاستلام نسخة من أي مطبوعة تعتمد هذه الوثيقة كمصدر معلومات تم الاستعانة به.

ولا يجوز استخدام هذه الوثيقة للبيع أو لأي أغراض تجارية أخرى مهما كانت دون الحصول على إذن خطي مسبق من الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية.

الأمين العام
مجلس التعاون لدول الخليج العربية
مكاتب الأمانة العامة
الرياض – المملكة العربية السعودية
www.gcc-sg.org

إخلاء مسؤولية

إن التوصيفات المستخدمة وعروض المواد المذكورة في هذه الوثيقة لا تعكس أي وجهة نظر مهما كانت نيابة عن الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية (GCC) أو برنامج الأمم المتحدة للبيئة(UNEP) فيما يتعلق بالمركز القانوني لأي دولة أو بقعة جغرافية أو مدينة أو منطقة أو أي من سلطاتها، أو ما يتعلق بتعيين حدودها.

إن الإشارة وذكر اسم أي شركة أو منتج تجاري لا يعني اعتماده من قبل الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية أو مكتب الأمم المتحدة للبيئة أو المؤلفين.

لا يجوز استخدام المعلومات المذكورة في هذه الوثيقة لغايات عامة أو إعلانية. وإن أسماء العلامات التجارية والرموز التجارية قد جرى استخدامها بشكل تحريري دون أي قصد للإخلال أو انتهاك حقوق العلامات التجارية أو قوانين النشر.

ونعتذر عن أي أخطاء أو سهو قد تم بشكل غير متعمد.

تمهيد

يُقدر عدد حالات الوفاة المبكر بسبب التعرض لتلوث الهواء بنحو 7 ملايين حالة سنوياً ، لذا يعد تلوث الهواء أكبر خطر منفرد على الصحة البيئية في العالم. وتواجه دول مجلس التعاون كغيرها من دول العالم ، زيادة تلوث الهواء بسبب العوامل الجغرافية والأرصاد الجوية مثل الرمال والغبار وملح البحر التي تترافق مع تلوث الهواء الصناعي.

وسعياً من دول مجلس التعاون لمواجهة هذه الظاهرة وتخفيض آثار تلوث الهواء على صحة الإنسان، وافق وزراء البيئة في دول مجلس التعاون في عام 2017 على إطلاق مبادرة الخليج الخضراء التي تتضمن أربعة مشاريع منها مشروع اعداد "دليل مراقبة جودة الهواء وإدارة البيانات" دول مجلس التعاون ، وقد تم الاتفاق مع برنامج الامم المتحدة للبيئة -مكتب غرب آسيا على التعاون في هذه المبادرة و مشاريعها .
وضمن هذا المشروع أجرى مجلس التعاون وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) تحليلاً شاملاً لمصادر التلوث الهوائي وأنواعه المختلفة وخيارات التصدي له، والذي يتضمن عدة أهداف ، منها تطوير دليل لجمع بيانات جودة الهواء المصممة خصيصاً لمنطقة الخليج.

ويوفر هذا الدليل "دليل مراقبة جودة الهواء وإدارة البيانات" إرشادات شاملة حول قياس تلوث الهواء والتي تهدف إلى مواءمة التنفيذ مع أفضل الممارسات العالمية ، وذلك على النحو التالي :
أولاً : يحتوي الدليل على قواعد جمع بيانات مراقبة الهواء المحيط لتحديد أسباب تلوث الهواء.
ثانيًا : يقدم الدليل استراتيجيات لإدارة بيانات تلوث الهواء بدقة ، بما في ذلك الجمع السليم ، والتصنيف ، والحماية ، والتخزين.
ثالثًا : يحدد الدليل الملوثات التي يجب أن تركز عليها المراقبة.

وتجدر الإشارة إلى أن المبادئ التوجيهية الواردة في الدليل ، ليست ملزمة قانوناً ، فهي تهدف إلى مساعدة الحكومات والمؤسسات العلمية والمؤسسات الأخرى المشاركة في قياس تلوث الهواء لتحسين عمليات القياس الحالية والحصول على البيانات ، عطفاً على أن التقرير يهدف إلى توحيد القياس في دول مجلس التعاون وتزويد السلطات المحلية والوطنية بمجموعة أدوات قوية لمعالجة تلوث الهواء. ولدعم الامتثال للمبادئ التوجيهية هذه وتنفيذها على الدول النظر في برامج بناء القدرات على المستويين الوطني والإقليمي.

الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية

شكر وتقدير

تم إعداد هذا الدليل بدعم من مشروع «مبادرة الخليج الأخضر: تحقيق الأبعاد البيئية لأهداف التنمية المستدامة.» وتم تنفيذ مبادرة الخليج الأخضر من قبل برنامج الأم المتحدة للبيئة المكتب الإقليمي لغرب آسيا بالشراكة مع الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية وضباط الاتصال الوطنيين في كل دول مجلس التعاون.

الفرق الرئيسية:

المؤلفون المشاركون

نجاة عون صليبا، الجامعة الأمريكية ببيروت، عصام لاكيس، الجامعة الأمريكية ببيروت، مريم معماري، الجامعة الأمريكية ببيروت، و اينقارارسان ميلفاكانام برنامج الأمم المتحدة للبيئة المكتب الإقليمي لغرب آسيا.

فريق المراجعين والمشاركين في العمل

لمى عباس المحروس / البحرين، مريم محمد الأنصاري / البحرين، نوف بهبهاني / الكويت، شريف س. الخياط / الكويت، عهود حمد الحامدي / الكويت، مريم البوسعيدي / عُمان، سعود العريمي / عُمان، سعد عبدالله الحاتمي / قطر، عبدالله العوضي / قطر، فيصل أحمد غيشة / السعودية، علي بن عمر بن مشاري، السعودية، فاطمة الحمادي / الإمارات، ميرا علي محمد الطاهري / الإمارات.

شكر وتقدير خاص

فريق المراجعة الخارجي

عبدوس سلام / جامعة دكا، بيرت فابيان / UNEP، سوبات وانغونغواتانا / المعهد الآسيوي للتكنولوجيا، تسيوشي أوهيزومي / المركز الآسيوي لبحوث تلوث الهواء، كيبشي ساتو / المركز الآسيوي لبحوث تلوث الهواء، كين ياماشيتا / المركز الآسيوي لبحوث تلوث الهواء.

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

سامي ديماسي، عبدالمجيد حداد، اينقارارسان ميلفاكانام، سابين سكر، 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.

التحرير اللغوي

ستيفن غراهام (شبكة Zoï للبيئة)

التصميم والإخراج

صابرينا أورسيني (شبكة Zoï للبيئة)

جدول المحتويات

1. مضمون هذا الدليل **06**

2. ما يجب مراقبته؟ – اختيار الملوثات **08**
2.1. الرصد من أجل المعايير **08**
2.1.1. إرشادات جودة الهواء الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ومعايير جودة الهواء الوطنية لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 08
2.2. رصد الأرصاد الجوية **16**

3. كيفية الرصد؟ – طرق الرصد **18**
3.1. استخدام طرق الرصد المناسبة **18**
3.2. أنواع منهجيات الرصد **19**
3.2.1. طرق الرصد المتواصل 19
3.2.2. طرق الرصد المتقطع 20
3.3. طرق رصد الهواء المحيط **21**
3.3.1. PM_{10} و $PM_{2.5}$ 21
3.3.2. أكسيد الكربون (CO) 24
3.3.3. أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) 25
3.3.4. الأوزون (O_3) 26
3.3.5. ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) 27
3.3.6. الرصاص (Pb) 28
3.4. اختيار أجهزة الرصد المناسبة **31**

4. مكان الرصد؟ – اختيار مواقع الرصد **32**
4.1. تمثيلية مواقع الرصد **32**
4.1.1. التمثيل المكاني 32
4.1.2. التمثيل الزمني 32
4.2. تصنيفات المواقع **33**
4.3. اعتبارات اختيار الموقع **36**

5. إرشادات إدارة البيانات **38**
5.1. العناصر الأساسية لضمان الجودة / مراقبة الجودة **39**
5.1.1. معايرة الأجهزة وصيانتها 39
5.1.2. الحصول على البيانات 45
5.1.3. تخزين العينة 46
5.1.4. تخزين البيانات 47
5.1.5. قبول البيانات 48
5.2. نموذج التوثيق **52**
5.3. الإبلاغ عن نتائج الرصد **53**
5.3.1. الإحصاءات الموجزة 54

6. تقييم وتحليل بيانات جودة الهواء **57**
6.1. التقييمات وفقا لمعايير جودة الهواء **57**
6.2. نقاط جودة الهواء **58**
6.3. مؤشر جودة الهواء (AQI) **59**

الملحق أ **61**
وحدة الرصد وحسابات التحويل **61**
وحدات الرصد 61

الملحق ب **63**
البيانات السلبية والضائعة **63**
البيانات السلبية 63
البيانات المفقودة 64
المراجع **65**

قائمة الجداول
الجدول 1: إرشادات جودة الهواء لعام 2021 لمنظمة الصحة العالمية 09
الجدول 2: معايير جودة الهواء المحيط في الإمارات العربية المتحدة 10
الجدول 3: معايير جودة الهواء المحيط في المملكة العربية السعودية 11
الجدول 4: معايير جودة الهواء المحيط في مملكة البحرين 12
الجدول 5: معايير جودة الهواء المحيط في دولة الكويت 13
الجدول 6: معايير جودة الهواء المحيط في سلطنة عُمان 14
الجدول 7: معايير جودة الهواء المحيط في دولة قطر 15
الجدول 8: طرق رصد PM (PM_{10} و$PM_{2.5}$) 22-21
الجدول 9: طريقة رصد أول أكسيد الكربون 24
الجدول 10: طرق رصد NO وNO_2 25
الجدول 11: طريقة رصد O_3 و O_3 على مستوى الأرض 26
الجدول 12: طريقة رصد SO_2 27
الجدول 13: طريقة رصد Pb 28
الجدول 14: رصد غازات متعددة في وقت واحد 29
الجدول 15: تصنيف المواقع (نهج الولايات المتحدة) 33
الجدول 16: العلاقة بين نوع الموقع والنطاق المكاني للنطاق التمثيلي (نهج الولايات المتحدة) 34
الجدول 17: تصنيفات المواقع (نهج الاتحاد الأوروبي) 35
الجدول 18: العلاقة بين نوع الموقع ونوع المنطقة (نهج الاتحاد الأوروبي) 35
الجدول 19: اعتبارات اختيار الموقع 36
الجدول 20: نموذج توثيق البيانات الوصفية 53-52
الجدول 22: الإحصاءات الموجزة 56-55-54
الجدول 23: فئات مؤشر جودة الهواء 59
الجدول 24: التحويل من ppb إلى $\mu g/m^3$ عند 298K (25 درجة مئوية) 62

قائمة الأشكال
الشكل 1: منحنى المعايرة النموذجي 41
الشكل 2 : الصفر والمدى 42
الشكل 3: عملية قبول البيانات 48
الشكل 4: التغير في المدى 49
الشكل 5: رسم تخطيطي يصف التحقق من صحة البيانات مما يؤدي إلى متوسطات محسوبة 51
الشكل 6: رسم تخطيطي يصف عملية التحقق من صحة البيانات في مراكز البيانات المختلفة 51

01

1. مضمون هذا الدليل

يتضمن هذا الدليل الخطوات المطلوبة لإنشاء عملية رصد جودة الهواء، بدءا من اختيار الملوثات للرصد، وأجهزة وموقع الرصد، إلى جمع البيانات وتخزينها وقبولها وانتهاءً بإعداد التقارير عنها وتفسيرها ومتابعة توصياتها.

تستند التوصيات والإجراءات المقدمة في هذا الدليل بشكل كبير على أفضل الممارسات الدولية مع تعديلات تناسب مجلس التعاون على أفضل وجه. هيكل الدليل على النحو التالي.

الفصل الأول	**مقدمة**	يصف الغرض من الدليل
الفصل الثاني	**ما يجب رصده**	يحتوي معلومات حول المعايير والمبادئ التوجيهية للملوثات التي تضر بصحة الإنسان والرفاهية العامة التي حددتها دول مجلس التعاون
الفصل الثالث	**كيفية الرصد**	يناقش الأساليب المستخدمة لرصد جودة الهواء
الفصل الرابع	**مكان الرصد**	يوفر مبادئ توجيهية حول كيفية اختيار موقع
الفصل الخامس	**إرشادات إدارة البيانات**	يوفر إرشادات لضمان جودة البيانات في معايرة الأدوات، والحصول على البيانات، وتخزين البيانات والعينات، وتنسيقات الإبلاغ عن بيانات ومعايير قبول البيانات
الفصل السادس	**تقييم وتحليل بيانات جودة الهواء**	يناقش الأساليب المستخدمة لتحليل وتفسير البيانات
الملحق أ	**وحدة الرصد وحسابات التحويل**	يحتوي توصيات حول وحدات الرصد التي يجب استخدامها وكيفية التحويل بين وحدات الرصد
الملحق ب	**البيانات السلبية والضائعة**	يحتوي إرشادات حول كيفية التعامل مع البيانات السلبية والضائعة

02

2. ما يجب مراقبته؟ - اختيار الملوثات

2.1. الرصد من أجل المعايير

وضعت جميع دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية معايير وطنية لرصد الهواء المحيط والتي تستند في الغالب إلى القواعد الارشادية الدولية والظروف المحلية. نلاحظ أدناه الفرق بين المبدأ التوجيهي والمعيار.

المبدأ التوجيهي (Guide) هو توصية أو توجيه لحماية صحة الإنسان والبيئة من الآثار الضارة لتلوث الهواء. إن المبادئ التوجيهية لجودة الهواء المحيط هي حدود التركيز التي يمكن إدراجها كغايات في الخطط الوطنية أو الإقليمية. وهي لا تحدد التجاوز المسموح به.

المعيار (Standard) هو مستوى تركيز أو حد ملوث الهواء. وهو يختلف عن التوصية أو المبدأ التوجيهي من حيث طبيعته الإلزامية في إطار آليات الرصد ومتطلبات الإبلاغ. وفي صياغة المعيار يجب تحديد مستوى الملوث (المرتبط بتأثير الملوث) ومتوسط الوقت واستراتيجية القياس وإجراءات معالجة البيانات والإحصاءات المستخدمة لاشتقاق القيمة المراد مقارنتها بالمعيار. ووفقًا لمنظمة الصحة العالمية (WHO)، فإن معايير جودة الهواء هي المستويات المقبولة لتلوث الهواء، من حيث التأثيرات المحتملة على الصحة العامة والبيئة والتي تعتبر مقبولة ومعتمدة باعتبارها قابلة للتنفيذ من قبل هيئة تنظيمية (منظمة الصحة العالمية، 1997). وتتضمن بعض معايير جودة الهواء المحيط عدد التجاوزات المسموح بها في أي فترة 12 شهرًا (أي عدد المناسبات التي قد يتجاوز فيها مستوى الملوث المعيار في السنة).

2.1.1. إرشادات جودة الهواء الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ومعايير جودة الهواء الوطنية لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

تستند إرشادات جودة الهواء (AQGs) الصادرة عن منظمة الصحة العالمية إلى أدلة علمية واسعة النطاق تتعلق بالمعايير الرئيسية للملوثات والآثار الضارة على الصحة العامة. تشمل هذه الملوثات الجسيمات (PM_{10} و $PM_{2.5}$) والأوزون (O_3) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأول أكسيد الكربون (CO) والرصاص (Pb). يلخص الجدول 1 قيم منظمة الصحة العالمية إرشادات جودة الهواء ، كما تم تحديثها في عام 2021، وكذلك الأهداف المرحلية المقترحة كمراحل تدريجية في التخفيض التدريجي لتلوث الهواء. كما يوضح الجدول 7-2 معايير رصد الهواء التي وضعتها كل دولة من دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. لاحظ أن الاختلاف الرئيسي في القيم الحدية للمواد الجسيمية ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) في إرشادات منظمة الصحة العالمية وتلك الموجودة في المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط في لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية يرجع إلى المناخ الجاف في المنطقة والتعرض للجسميات الناشئة من الصحراء العربية التي تمثل حاجزًا طبيعيًا للبقاء ضمن قيم إرشادات جودة الهواء الصادرة عن منظمة الصحة العالمية. وفي الواقع، يرتبط المناخ الجاف لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ارتباطًا إيجابيًا بالمستويات المرتفعة لتركيز الجسيمات (Al Jallad, 2013, Al Katheeri, & Al Omar). وسواء كانت إرشادات منظمة الصحة العالمية بحاجة إلى أخذ هذا العائق الطبيعي في الاعتبار أم لا، فإن ذلك يتوقف على تقييم الأثر الصحي للعواصف الرملية والغبار. ولا تزال الجهود المبذولة للإجابة على هذا السؤال جارية. ما تم تحديده حتى الآن بناءً على مراجعة منهجية حديثة هو أن التأثير الصحي المحتمل لجزيئات الغبار الصحراوي قد يترافق مع تركيز عالٍ من الغبار الغني بالمعادن (الغبار المعدني – Mineral Dust) في PM_{10} بمستويات تمتد من 400 µg / م 3 إلى أكثر من 1000 µg / م 3 (Querol et al., 2019). وقد ارتبط التعرض الحاد لمثل هذه التركيزات العالية بالمرض الرئوي (السحار الرملي) المعروف أيضًا باسم بمتلازمة "الرئة الصحراوية" (Derbyshire, 2007). في مواقع المستقبلات البعيدة عن مصادر الجسميات الصحراوية، يصبح الغبار المحمول جواً محملاً بشكل متزايد بالغبار البشري المنشأ، مما يثريه بـ $PM_{2.5}$ و PM_1 بتركيزات يمكن أن تتجاوز نسبة 35٪ من الغبار الحيوي.

إن الجزيئات الممزوجة أو المغلفة بانبعاثات بشرية المنشأ والتي يمكن أيضًا تحميلها بالكائنات البيولوجية والميكروبيولوجية تسبب الربو وكذلك العدوى الفيروسية والبكتيرية (.Watanabe et al ,2011a ,Griffin ,2011b ,2007). بالإضافة إلى ذلك، خلص (Polymenakou et al. (2008)) إلى أن مسببات الأمراض الموجودة في غبار الصحراء قد يكون لها مخاطر كبيرة على صحة الإنسان (.Cassee et al ,2013)، والعديد من الدراسات الوبائية الأخرى التي أجراها .Neophytou ,2011 ,Mallone et al 2011 ,and Tobias et al. ,2008 ,Perez et al., 2013 ,et al أشارت أن الجسيمات لها تأثيرات أقوى على معدل الوفيات خلال أيام الغبار، مقارنة بالأيام الخالية من الغبار. من ناحية أخرى، لم تجد الدراسات التي أجراها (2014 ,Al-Taiar and Thalib) أي زيادة كبيرة في معدل الوفيات في الكويت بسبب العواصف الرملية والغبار (. Shahsavani et al ,2020). واستنتج Park et al (2018) أن تأثير درجة سمية جسيمات الغبار الصحراوي أقل بـ 10000 مرة من جزيئات عادم محرك الديزل. في الختام، فإن التأثير الصحي المباشر للغبار الصحراوي هو الأكثر ارتباطًا بالمحتوى الكيميائي للجسيمات من الأحمال المعدنية والبشرية (المعادن والملوثات العضوية وغير العضوية والبيولوجية)، والتي تتأثر أساسًا بأصل مصادر الانبعاث ومسارات النقل (Querol et 2019).

الجدول 1: إرشادات جودة الهواء لعام 2021 لمنظمة الصحة العالمية (المصدر: WHO (2021);
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

الملوثات	WHO AQG (µg/م³)	الهدف المؤقت منظمة الصحة العالمية (IT) (µg/م³)	متوسط الوقت
PM_{10}	15	70 :1- IT 50 :2- IT 30 :3- IT 20 :4- IT	المتوسط السنوي
	45	150 :1- IT 100 :2- IT 75 :3- IT 50 :4- IT	متوسط 24 ساعة
$PM_{2.5}$	45	35 :1- IT 25 :2- IT 15 :3- IT 10 :4- IT	المتوسط السنوي
	15	75 :1- IT 50 :2- IT 37.5 :3- IT 25 :4- IT	متوسط 24 ساعة

الجدول 1: إرشادات جودة الهواء لعام 2021 لمنظمة الصحة العالمية (المصدر: WHO (2021)؛ https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
(continued)

أوزون O_3	100	160 :1-IT 120 :2-IT	متوسط 8 ساعات
	60	100 :IT1 70 :2-IT	موسم الذروة
ثاني أكسيد النتروجين NO_2	10	40 :1-IT 30 :2-IT 20 :3-IT	المتوسط السنوي
	25	120 :1-IT 50 :2-IT	متوسط 24 ساعة
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	40	125 :1-IT 50 :2-IT	متوسط 24 ساعة
أول أكسيد الكربون CO	4 ملغم/م^3	7 :1-IT	متوسط 24 ساعة

معايير جودة الهواء في الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية والبحرين والكويت وعمان وقطر موضحة في **الجداول 7-2**

الجدول 2: معايير جودة الهواء المحيط في الإمارات العربية المتحدة (المصدر: https://www.adairquality.ae/)

Parameter	Limit	Avg. period*
SO_2	350 µg/m³ (131 ppb)	1 h
	150 µg/m³ (56 ppb)	24 h
	60 µg/m³ (23 ppb)	Annual
NO_2	400 µg/m³ (209 ppb)	1 h
	150 µg/m³ (78 ppb)	24 h
CO	30 mg/m³ (26 ppm)	1 h
	10 mg/m³ (9 ppm)	8 h
O_3	200 µg/m³ (100 ppb)	1 h
	120 µg/m³ (60 ppb)	8 h
PM_{10}	150 µg/m³	24 h
Total suspended particles	230 µg/m³	24 h
	90 µg/m³	Annual
Lead	1 µg/m³	Annual

الجدول 3: معايير جودة الهواء المحيط في المملكة العربية السعودية

(المصدر: https://www.mewa.gov.sa/ar/InformationCenter/DocsCenter/RulesLibrary/Pages/default.aspx)

Parameter	Limit	Avg. period	Number of exceedances
CO	10 mg/m³ (9 ppm)	8 h	2 times per month
	40 mg/m³ (34 ppm)	1 h	1 time per year
Pb	0.15 µg/m³	3 months	none
NO_2	200 µg/m³ (105 ppb)	1 h	24 times per year
	100 µg/m³ (52 ppb)	Annual	N/A
SO_2	441 µg/m³ (165 ppb)	1 h	24 times per year
	217 µg/m³ (81 ppb)	24 h	3 times per year
	65 µg/m³ (24 ppb)	Annual	N/A
Benzene	5 µg/m³ (1.5 ppb)	Annual	N/A
PM_{10}	340 µg/m³	24 h	12 times per year
	50 µg/m³	Annual	N/A
$PM_{2.5}$	35 µg/m³	24 h	12 times per year
	15 µg/m³	Annual	N/A
O_3	157 µg/m³ (79 ppb)	8 h	25 times a year (average over 3 years)
Hydrogen sulphide (H_2S)	150 µg/m³ (100 ppb)	24 h	10 times per year
	40 µg/m³ (30 ppb)	Annual	N/A

الجدول 4: معايير جودة الهواء المحيط في مملكة البحرين (المصدر: sce.gov.bh)

Pollutant	Limit		Avg. period
	ppb	µg/m³	
SO_2	115	300	1 h
	48	125	24 h
	19	50	Annual
NO_2	106	200	1 h
	80	150	24 h
	21	40	Annual
PM_{10}	-	340	24 h
		80	Annual
$PM_{2.5}$	-	50	24 h
		25	Annual
CO	17 ppm	20,000	1 h
	9 ppm	10,000	8 h
Benzene	4	13	24 h
	1.56	5	Annual
Toluene	300	1,130	24 h
	106	400	Annual
Xylene	100	434	24 h
	23	100	Annual
Total non-methane hydrocarbons (NMHC)	0.240 ppm	160	3 h
Hydrogen sulfide (H_2S)	30	42	1h
	11	15	24 h
NH_3	604	420	1h
	144	100	24 h

الجدول 5: معايير جودة الهواء المحيط في الكويت
(المصدر: https://enterprise.emisk.org/eMISKAirQuality/#/KAQI)

Parameter	Limit	Avg. period
SO_2	200 µg/m³ (75 ppb)	1 h
	51 µg/m³ (19 ppb)	24 h
NO_2	191 µg/m³ (100 ppb)	1 h
	40 µg/m³ (21 ppb)	Annual
CO	41 mg/m³ (35 ppm)	1 h
O_3	140 µg/m³ (70 ppb)	8 h
PM_{10}	350 µg/m³	24 h
$PM_{2.5}$	75 µg/m³	24 h

الجدول 6: معايير جودة الهواء المحيط في سلطنة عمان
(المصدر: https://www.duqm.gov.om/upload/files/air-quality-protection.pdf)

Pollutant	Limit		Avg. period
	ppb	µg/m³	
SO_2	131	350	1 h
	56	150	24 h
H_2S	20	30	1 h
NO_2	131	250	1 h
	68	130	24 h
O_3	60	120	8 h
NH_3		200	24 h
CO	25,773	30 mg/m³	1 h
	8,591	10 mg/m³	8 h
PM_{10}	-	150	24 h
$PM_{2.5}$	-	65	24 h
NMHC	0.24	160	3 h
Pb		1.5	3 months

الجدول 7: معايير جودة الهواء المحيط في دولة قطر

(المصدر: https://www.psa.gov.qa/en/knowledge/Publications/Environment/Env_Environmental_Statistic_Report_En_2013.pdf)

Parameter	Limit	Avg. period
SO_2	365 µg/m³ (137 ppb)	24 h
	80 µg/m³ (30 ppb)	Annual
NO_2	400 µg/m³ (209 ppb)	1 h
	150 µg/m³ (78 ppb)	24 h
	100 µg/m³ (52 ppb)	Annual
O_3	235 µg/m³ (118 ppb)	1 h
	120 µg/m³ (60 ppb)	8 h
CO	40 mg/m³ (34 ppm)	1 h
	10 mg/m³ (9 ppm)	8 h
PM_{10}	150 µg/m³	24 h
	50 µg/m³	Annual
$PM_{2.5}$	-	24 h
	-	Annual

2.2. الأرصاد الجوية

تشمل الأرصاد الجوية في الموقع متغيرات الأحوال الجوية الأولية مثل اتجاه وسرعة الرياح ودرجة الحرارة، والرطوبة والضغط والإشعاع. تؤثر سرعة الرياح واتجاهها وتقلبها على المدة الزمنية التي يستغرقها الملوث في السفر من مصدر التلوث إلى موقع المستقبل والحركات الكلية للملوثات في الغلاف الجوي (U.S. Environmental Protection Agency, 2000b). لذلك يجب مراعاة الأحوال الجوية عند تحديد الموقع والارتفاع والاتجاه، كذلك عندما تؤخذ العينات بغرض التحقق. بالإضافة إلى ذلك، تعد بيانات الأرصاد الجوية شرطًا أساسيًا لنمذجة تشتت الملوثات (dispersion modeling). ومن أجل حساب الاختلافات فيما بينها، قد تتطلب المراقبة الجيدة لبيانات الأرصاد الجوية وجود عدد من المحطات بحسب تضاريس الموقع.

تقاس سرعة الرياح عادةً باستخدام أجهزة قياس (anemometers) خفيفة الوزن بثلاثة أكواب مزودة بأجهزة استشعار عالية الدقة عند سرعات الرياح المنخفضة وعتبة بدء منخفضة. يتم قياس اتجاه الرياح مباشرة باستخدام ريشة توجيه، ويتم قياس فرق درجة الحرارة ودرجة الحرارة باستخدام أجهزة مقاومة درجات الحرارة. ولا ينصح باستخدام المزدوجات الحرارية (Thermocouples) بسبب دقتها المحدودة ودوائرها المعقدة. تُقاس الرطوبة عادةً باستخدام نقطة الندى، أو كلوريد الليثيوم، أو مقياس رطوبة مكثف رقيق الغشاء (Thin-film hygrometer) ويتم قياس الأمطار بمقياس مطر سواء معتمد عل الوزن او الحجم (weighing or tipping bucket rain gauge). يقاس الضغط الجوي بمقياس الضغط اللاسائلي (aneroid barometer) وتستخدم مقاييس الحرارة (pyranometers) عادة لقياس الإشعاع الشمسي العالمي.

يجب وضع مستشعرات سرعة واتجاه الرياح على مستوى عالي وتضاريس مفتوحة على ارتفاع 10 أمتار فوق مستوى الأرض وعلى الأقل مسافة عشرة أضعاف ارتفاع العوائق القريبة منها. بالنسبة للإطلاقات المرتفعة، يجب إجراء قياسات إضافية عند قمة المدخنة أو 100 متر، أيهما أقل. ويجب أن تكون أجهزة استشعار درجة الحرارة على ارتفاع مترين. كما يجب حماية مستشعرات درجة الحرارة من الإشعاع الحراري وأي مصادر لها القابلية لتصدير او امتصاص الحرارة. يجب تحديد موقع مقاييس الحرارة المستخدمة لقياس الإشعاع (الشمسي) الوارد مع رؤية غير مقيدة (صافية) للسماء في جميع الاتجاهات خلال جميع الفصول. ولا يعتبر ارتفاع المستشعر بالغ الأهمية بالنسبة لأجهزة قياس درجة الحرارة فأسطح المنازل والمنصات المرتفعة تعتبر مواقع مقبولةً. يجب تركيب مقاييس الإشعاع على ارتفاع متر واحد فوق مستوى سطح الأرض.

يجب استخدام نظام بيانات رقمية يعتمد على المعالجات الدقيقة كنظام تسجيل البيانات الأساسي. ويمكن استخدام أنظمة تسجيل البيانات التناظرية (analog) كنسخة احتياطية. ويجب أن تستند تقديرات «المعدل او المتوسط» إلى 60 عينة على الأقل (عينة واحدة في الدقيقة لمتوسط الساعة). ويجب أن تستند تقديرات التباين إلى 360 عينة على الأقل (متوسط التباين لست عينات في الدقيقة لكل ساعة).

ينبغي توثيق إجراءات الامتثال لمتطلبات الإبلاغ والأرشفة في بروتوكول الرصد قبل بدء الرصد. يجب تقليل بيانات الأرصاد الجوية المقدمة إلى الهيئات التنظيمية لاستخدامها في النمذجة إلى متوسطات كل ساعة. ويجب تسجيل البيانات حسب الترتيب الزمني; كما يجب تصنيف السجلات وفقًا لوقت المراقبة (المحدد على أنه الوقت في نهاية فترة المتوسط، أي الساعة المنتهية).

يجب توثيق إجراءات ضمان الجودة / مراقبة الجودة (QA / QC) في خطة مشروع ضمان الجودة (QAPP) واعتمادها من قبل المشروع أو السلطة التنظيمية المناسبة. يجب أن توفر هذه الإجراءات وثائق ببيانات كمية لدعم مزاعم الدقة. يجب أن تتضمن وثائق التوريد الخاصة بأنظمة مراقبة الأرصاد الجوية مواصفات أنظمة الأجهزة، ويجب أن تحدد طريقة الاختبار التي سيتم من خلالها تحديد المطابقة مع المواصفات. يجب توثيق جميع أنشطة اختبار القبول في سجل المحطة. وأن يتم إجراء المعايرة الروتينية ومراجعة النظام عند بدء برنامج الرصد (في غضون 30 يوما من بدء التشغيل) وعلى الأقل كل ستة أشهر بعد ذلك. قد تكون هناك حاجة إلى عمليات معايرة وتدقيق أكثر تواترا في المراحل الأولى من البرنامج خاصة إذا واجهت مشاكل، أو إذا كانت معدلات استرداد البيانات الصحيحة منخفضة بشكل غير مقبول.

ما يجب رصده

رصد مستويات الملوثات المعيارية الرئيسية التي حددتها كل دولة من دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية بالإضافة إلى الأحوال الجوية المحلية، مثل سرعة واتجاه الرياح وتقلبات الرياح ودرجة الحرارة وحمل الغبار والرطوبة في كل محطة رصد.

03

3. كيفية الرصد؟ - طرق الرصد

يصف هذا الفصل الأساليب والأجهزة والتقنيات الأنسب لرصد جودة الهواء، ويناقش الطرق الإلزامية لجودة الهواء المحيط.

3.1. استخدام طرق الرصد المناسبة

يمكن استخدام طرق عدة لرصد جودة الهواء. عند اختيار طرق محددة ومناسبة يجب مراعاة الهدف والغرض من الرصد (UK Environment Agency, 2011) ونوع الملوثات التي يتم رصدها وتوافر المعايير المرجعية ومتوسط الوقت المناسب والميزانية. يحدد متوسط الوقت ما إذا كانت طريقة الرصد تحتاج إلى أن تكون مستمرة. تتطلب بعض اللوائح متوسطات متكررة لمدة 8 ساعات لبعض الملوثات، على سبيل المثال الأوزون في هذه الحالة، يجب أن يكون المحللون مستمرين. في الحالات التي تتطلب استطلاعات الفحص الأولية، يمكن استخدام أدوات ذات دقة أقل. تسبق هذه الأساليب المراقبة طويلة المدى وهي مفيدة في تحديد أولويات المواقع من بين المواقع المختارة بالفعل لإدراجها المحتمل في برامج الرصد. لا يوصى باستخدام طرق الفرز لتحديد الامتثال للمعايير أو الإرشادات الوطنية لأنها عادة ما تفتقر إلى مستوى الدقة والدقة المطلوبة المناسبة لرصد جودة الهواء المحيط.

تدعم مجموعة متنوعة من برامج القياس عمليات تقييم جودة الهواء وتشمل ما يلي:

1. الشبكات الخاصة بالإجراءات التنظيمية والترسيب (deposition) الروتينية
2. الدراسات الميدانية الجوية والبرية المكثفة
3. قياسات الأقمار الصناعية
4. الشبكات المركزة على غرض محدد والثابتة المواقع وذات الأغراض الخاصة

النقاط 1 و2 و4 موضحة أدناه. تم تفصيل **النقطة 3** في الدليل المصاحب لنمذجة جودة الهواء والتنبؤ به في منطقة مجلس التعاون لدول الخليج العربية (انظر المقدمة).

عادة ما يتم إنشاء شبكات جودة الهواء المحيط والترسيب الروتينية القائمة على السطح لقياس تركيزات معايير ملوثات الهواء الستة (PM_{10} and $PM_{2.5}$) (O_3, NO_2, CO, SO_2, Pb, and PM). يتم وصف كيفية تحديد أماكن المواقع في هذه الشبكات في الأقسام أدناه. عادة ما تقوم أجهزة الرصد بالإبلاغ عن تركيزات الملوثات بشكل مستمر (على سبيل المثال كل ساعة). ويمكن أيضًا الإبلاغ عن تركيزات الملوثات بشكل منفصل كمتوسط عينة 24 ساعة باستخدام طرق جمع المرشح أو المحلول. تستخدم طرق جمع المرشح بشكل شائع لتحديد تركيزات كتلة PM_{10} و $PM_{2.5}$ و $PM_{10-2.5}$ (حيث $PM_{10-2.5}$ هو الفرق بين تركيزات PM_{10} و $PM_{2.5}$). عادة ما يتم أخذ عينات المرشح (filters) كل ثالث أو سادس يوم لمدة 24 ساعة.

في وضع دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية حيث تكثر فيها العواصف الترابية، هناك حاجة لتقييم مساهمة جزيئات الغبار في الكتلة الكلية للجسيمات. لذلك يوصى، بالإضافة إلى مراقبة تركيزات المواد الجسيمية، بإنشاء شبكة فرعية لقياس الأنواع الكيميائية. تتيح بيانات الأنواع الخاصة بالكبريتات والكربون (الانقسامات العضوية والعنصرية) والنترات والعناصر القشرية (crustal elements) نظرة ثاقبة عن التقلبات اليومية مما يساعد في تشخيص مختلف ظواهر السبب والنتيجة المتعلقة بتوصيف الانبعاثات، وتحليل إسناد المصدر، وتقييم النموذج.

في حالة الأحداث العرضية المرتبطة بالعواصف الترابية، لا يزال التجانس بين أجهزة أخذ عينات مستمرة من الكتلة لـ $PM_{2.5}$ وطرق القياس المعتمدة على الجاذبية لكتلة الجسيمات يمثل تحديًا. تخلق القصور المرتبطة بتقنيات قياس الجاذبية القائمة على المرشح غموضًا كبيرًا في بيانات الجسيمات الدقيقة، مثل فقدان كتلة المكونات شبه المتطايرة. يمكن لتحليل الارتباط والعلاقة بين الطريقتين تجنب هذه المشكلة. ويمكن أن يسهم تنسيق هذه القياسات في معالجة الفجوات الزمنية والمكانية في عملية مراقبة الـ $PM_{2.5}$.

بالإضافة إلى شبكات المراقبة الروتينية طويلة المدى، فإن الحملات الميدانية المكثفة ذات المدة القصيرة نسبيًا ضرورية لقياس التوزيع المكاني والزماني والتركيبي للملوثات والمواد المشكلة لملوثات السلائف الكيميائية (precursors). ويتم تصميم هذه المسوحات او الدراسات للتحقق في الانبعاثات والمعالجة الفيزيائية والكيميائية والمواد المشكلة للسلائف لفهم مصدرها ومصيرها ونقلها وإزالتها. عادةً ما تستخدم المسوحات الميدانية مزيجًا من الدراسات القائمة على متن الطائرات و / أو السفن، وعن طريق الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية والأرض، وأجهزة البحث، والطرق التحليلية المتقدمة. إن هذه الجهود تكمل القياسات الأرضية الروتينية، والتي لا تتناول عادةً الأنواع التفاعلية من الغازات، وتوزيعات حجم الهباء الجوي، وتوصيف الكيمياء العضوية، والبيانات الطبقية عموديا.

3.2. أنواع منهجيات الرصد

يمكن تصنيف طرق الرصد إلى نوعين رئيسيين: متواصل ومتقطع. تاليا وصف لهذين النوعين.

3.2.1. طرق الرصد المتواصل

عادةً ما تكون طرق الرصد المتواصل عالية الدقة تقيس باستمرار مستويات الملوثات، ويمكن أن تعمل على مدار أسابيع أو شهور مع صيانة منتظمة كل أسبوعين تقريبًا. غالبًا ما تتغلب هذه الطرق على العديد من القيود المرتبطة بقياس تركيزات كتلة ملوثات الغلاف الجوي بالطرق القائمة على المرشح يوميا (على سبيل المثال، احتمال الحصول على نتائج ايجابية أو سلبية محتملة للعينات، بما في ذلك لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية حيث الظروف الجوية القاسية مثل ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة، وكذلك استمرار ارتفاع حمولة الغبار). تتطلب طرق الرصد المتواصل معايير عالية للصيانة والمعايرة وضمان الجودة وإجراءات مراقبة الجودة (QA / QC) لجودة البيانات (انظر القسم 5-1). تعتبر طرق الرصد المتواصل ملائمة للغاية عند الحاجة إلى قياسات جودة الهواء المحيط بدقة زمنية عالية. ومع ذلك، فإن دقة طرق الرصد المتواصل لقياس تركيزات الكتلة للمادة الجسيمية تعتمد بشكل كبير على الأجهزة المستخدمة (Wang, 2016). وبغض النظر عن نوع الأجهزة المستخدمة، فمن المستحسن أنه في الظروف الجوية القاسية، مثل تلك الموجودة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، يجب اختبار نماذج المعايرة على المستوى التشغيلي للشبكات عالية ومنخفضة التكلفة المطورة محليًا والتي يجب اختبارها لفترة طويلة من الوقت لإثبات قدرات جهاز الرصد في الظروف المحيطة، بما في ذلك أثناء الأحداث العرضية. ويمكن أن يمثل النشر على نطاق واسع لهذه الأجهزة التي تمت معايرتها، إلى حلول متكاملة للرصد والتنبؤ الزماني والمكاني الفعال وعالي الدقة الذي يركز على القياسات الأرضية.

3.2.2. طرق الرصد المتقطع

تعتبر الطرق التي تستخدم ادوات جمع العينات سواء كانت بالطريقة السلبية أو المنتشرة (أنابيب الانتشار *(Passive or diffusive samplers)* رخيصة وبسيطة وقادرة على توليد توزيع مكاني للملوثات على مساحات كبيرة. ومع ذلك، فإن أخذ العينات السلبي متاح فقط لبعض الملوثات. وهي مفيدة بشكل خاص خلال المراحل الأولية لرصد الهواء وفي استطلاعات الفحص. ويمكنهم فقط تقديم تركيزات متوسطة على مدى فترة طويلة من الزمن (عادة بعض الأسابيع).

وعلى سبيل المثال، يعد استخدام أنابيب الانتشار طريقة بسيطة لقياس NO_2، SO_2، NH_3 (الأمونيا). تعمل هذه الطريقة على أساس انتشار الملوثات في أنبوب يحتوي على مادة تفاعلية. ثم يتم تحليل الأنابيب بعد وقت تعرّض معروف، مما يوفر متوسط الوقت لتركيز الملوث. تسمح التكلفة المنخفضة نسبيًا بأخذ العينات في عدد مختلف من النقاط في المنطقة محل الاهتمام، وهو أمر مفيد في تحديد النقاط الساخنة لتركيزات عالية من الملوثات (Wales Government, 2018). وبعد جمع العينات، يجب إجراء التحليل المختبري وفقًا لمعايير عالية لضمان الجودة ومراقبة الجودة لضمان نتائج دقيقة ومتسقة. يقدم بعض مُصنعي العينات المنتشرة التحليل في مختبر معتمد جنبًا إلى جنب مع منتجاتهم.

يعد التحليل الوزني أحد أكثر الطرق التحليلية ويتم تعريفه على أنه تحديد تركيزات الجسيمات على مرشح بناءً على الفروق الكتلة قبل وبعد أخذ العينات (Greene, 2008). يبدأ الرصد بحجم مُقاس من الهواء يُسحب ويُضخ عبر مرشح تم وزنه مسبقًا لفترة زمنية معروفة. قد ترتبط المراقبة بالقياس الوزني بالأخطاء، لذا يجب اتخاذ الحيطة والحذر لضمان الحصول على نتائج دقيقة، بما في ذلك:

- التحكم المناسب في درجة الحرارة والرطوبة أثناء قياس الوزن
- فقدان أقل للوزن بسبب التبخير بالحفاظ على المرشحات باردة أثناء النقل
- تجنب تراكم الشحنات الكهروستاتيكية على المرشح

يتم جمع الجسيمات بشكل عام على المرشحات كل ثالث أو سادس يوم لمدة 24 ساعة وتستخدم متوسطات 24 ساعة لمدة عام كامل لحساب متوسطات السنوية. اما في حالة وجود الغبار، يمكن أن تكون فترة متوسط الوقت أقصر اعتمادًا على الموقع وحمل الغبار أثناء العاصفة الغبارية. هذا يتجنب التشبع الزائد للمرشح وانتشار الجسيمات المجمعة خاصة عند استخدام اجهزة جمع تعرف بالمصادم المتتالي او الشلالي (cascade impactor).

أنواع المنهجيات

يستخدم رصد الجسيمات المتواصل والمتقطع لرصد الملوثات مع كل طريقة تقدم مزاياها وعيوبها. تقدم طرق جمع المرشح عيوبًا محتملة لأخذ العينات، خاصة في دول مثل دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ذات الظروف الجوية القاسية، بما في ذلك ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة، فضلاً عن أحمال الغبار العالية.

3.3. طرق رصد الهواء المحيط

يصف هذا القسم طرق رصد الهواء المحيط التي يمكن استخدامها لرصد الملوثات PM_{10} و $PM_{2.5}$ و CO و NO_2 و O_3 و SO_2 و Pb التي تركز على معايير جودة الهواء في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. يعتمد هذا القسم على الأساليب الموضحة المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية (U.S. Environmental Protection Agency, 2021)، والمملكة المتحدة (& Department for Environment Food Rural Affairs, 2019)، والاتحاد الأوروبي (EU) التوجيه (EC/50/2008). تحتوي الجداول 8-14 على مراجع تفصيلية أخرى، بما في ذلك اللوائح الأمريكية ذات الصلة بما في ذلك 40 CFR الجزء 53 و40 CFR الجزء 50.

3.3.1. الجسميات (PM_{10} و $PM_{2.5}$)

الجدول 8: طرق رصد ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) PM

الطريقة	المرجع	وصف
ترشيح الجسيمات داخل المكدس (In-Stack)	CFR 40, Part 50, App. J, L	يقوم جهاز أخذ عينات الهواء بسحب الهواء المحيط بمعدل تدفق ثابت. خلال فترة أخذ العينات المحددة، يتم فصل الجسيمات المعلقة إلى أجزاء أحجام في نطاق حجم الجسيمات ويتم تجميعها على مرشح منفصل. يتم وزن المرشحات قبل وبعد أخذ العينات لتحديد الوزن الصافي المكتسب بسبب الجسيمات. يتم حساب تركيز كتلة PM_{10} بقسمة الكتلة الكلية للجسيمات المجمعة في نطاق حجم PM_{10} على حجم عينات الهواء. نظرًا لأن هذه الطريقة تعتمد على الوزن، فإن أي تراكم للماء بسبب الرطوبة (وهي عالية في منطقة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية) سوف يتداخل مع القياسات، لذا الاحتياطات كما هو موضح في **القسم 3.2.2.** يجب أن تؤخذ عند استخدام هذه الطريقة.
طريقة القياس الوزني	EN12341: 2014	
جهاز أخذ عينات الهواء ثنائي التفرع (Dichotomous Air Sampler)	EQPS-0311 -198 EQPS-0311 -197	يتم سحب الهواء إلى مدخل جهاز أخذ عينات الهواء ثنائي التفرع حيث يتم فصله حسب الحجم. يمكن لأخذ العينات قياس جسيمات الكتلة ذات الأحجام المختلفة.

الجدول 8: طرق رصد ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) PM
(continued)

رصد توهين بيتا (Beta-Attenuation Monitoring)	EQPM-0391-081 EN 16450 :2017	يجب إجراء قياس تركيز الكتلة على أساس مستمر باستخدام طريقة قياس بيتا. تعتمد هذه الطريقة على ترطيب جسيمات بيتا أثناء مرورها عبر الجسيمات الدقيقة المجمعة على مرشح خلال فترة زمنية محددة.
توازن تأرجح العنصر المدبب الدقيق (TEOM®) Tapered Element Oscillating Microbalance	EQPM-1090-079 EQPM-1013-208 EN 16450:2017	يتم سحب عينة من الهواء من خلال مرشح مركب على عنصر متأرجح مدبب. إن الجسيمات المتجمعة على المرشح تغير تردد التذبذب. ويتم حساب كتلة الجسيمات وفقًا للعلاقة بين الكتلة والتردد. لاحظ أن التداخلات قد تحدث بسبب الضوضاء الميكانيكية، وأن التقلبات الكبيرة في درجات الحرارة قد تسبب أخطاء في الحسابات، لذا يوصى بالمعايرة المتكررة بشكل خاص في مناطق دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية.
طرق التشتت الضوئي	EN 16450 :2017	تقاس الجسيمات الموجودة في عينة الهواء بمبدأ تشتت الضوء. يضيء ضوء الليزر كل جسيم ويتم الكشف عن إشارة تشتت بواسطة الصمام الثنائي الضوئي. إن كل ارتفاع تم قياسه يتناسب مع حجم الجسيمات. يتم حساب حجم الجسيمات ومن ثم يتم تحويل الأحجام إلى توزيع الكتلة.
قياس مطياف الهباء الجوي بالليزر Laser Aerosol Spectrometry	EQPM-0311-195	تستخدم هذه الطريقة أشعة الليزر لقياس كل من PM_{10} و $PM_{2.5}$. يتم سحب عينة من الهواء إلى مدخل رفيع. يتم إنشاء ستارة ليزر عموديًا على تيار المدخل بواسطة ميزاء (مُوجّه). يتم الكشف عن كمية الجسيمات عندما تمر الجسيمات عبر الستارة. ويمكن حساب التركيز باستخدام حجم المدخل.

أظهرت مراجعة الأدبيات التي تتناول الطرق المختلفة الممكن استخدامها لقياس الجسيمات، بما في ذلك أثناء العواصف الغبارية، أن اختيار أفضل الأدوات والمعدات لهدف مراقبة الجسميات تعتمد على الخصوصية والنوعية والحساسية والصحة والدقة وسهولة المعايرة وزمن الاستجابة. تشمل المعلمات التشغيلية التي يجب مراعاتها توافر أجهزة الاستشعار، والدقة المكانية، ومتطلبات الصيانة ووقت التعطل، والمعدات الإضافية المطلوبة، وتوافر العمالة الماهرة للعمليات والصيانة.

بالنسبة للطرق التي تعتمد على جمع المرشح لقياس تركيزات الجسيمات، يجب مراعاة مخاطر الترسيب السلبي للغبار المنبعث من الرياح على المرشح قبل وبعد أخذ العينات لأن تخزين المرشحات في جهاز أخذ العينات يمكن أن يؤدي إلى تحيّز (خطأ) إيجابي لقياسات الجسيمات (Bruckman and Rubino, 1976; Chahal and Romano, 1976; Blanchard and Romano, 1978; Swinford, 1980). يمكن التقليل من هذا التحيز من خلال أخذ العيانات بشكل متكرر (أي تقليل فترة الترسب السلبي)، ومرشحات التحميل المسبق في المختبر، ونقل أشرطة الترشيح غير المكشوفة والمكشوفة في حوامل الكاسيت المغطاة.

إن جميع طرق قياس الجسيمات الموصوفة في الجدول 8 قادرة على التفريق بين أحجام الجسيمات ولكن ليس بين الجسيمات الناشئة من الغبار الطبيعي والمصادر البشرية الأخرى أو الهباء الجوي الثانوي. يمكن أن يتم التمييز بين أنواع الجسيمات هذه في خطوة ثانوية عن طريق إجراء توصيف المواد الجسيمية كيميائيًا. تشمل الطرق السريعة التي يمكن إجراؤها على المرشحات المجمعة ركائز أخذ العينات لمزيد من الاستكشاف الكيميائي باستخدام الفحص المجهري الإلكتروني المجهز بنظام أشعة سينية مشتت للطاقة (SEM-EDX). وبناءً على التشكل والتكوين الأولي، يمكن استخلاص الاستنتاجات حول أصل الجسيمات. ثمة طريقة أخرى شائعة هي مطيافية فوريه (Fourier) لتحويل الأشعة تحت الحمراء (FTIR). يحدد طيف FTIR الأنواع المختلفة من المجموعات الوظيفية والروابط الموجودة في العينات على المستويات الجزيئية. ترتبط وفرة المواد المرتبطة بالكربون بمصادر بشرية المنشأ بينما يمكن ربط وجود السيليكون والكوارتز والألومينوسيليكات والكالسيوم والكلوريد بمجموعات من جزيئات الرمل المنفوخة بالرياح والغبار وجزيئات ملح البحر.

3.3.2. أول أكسيد الكربون (CO)

الجدول 9: طريقة رصد أول أكسيد الكربون

الطريقة	المرجع	نظرة عامة على طريقة التشغيل
القياس الضوئي غير المشتت بالأشعة تحت الحمراء	CFR 40, Part 50, App. C EN14626: 2012	يعد القياس الضوئي غير المشتت بالأشعة تحت الحمراء (NDIR) هو الطريقة الموصى بها لتحديد تركيزات CO. إن بساطة الطريقة ودقتها تجعلها تقنية موثوقة. يتم معايرة امتصاص الأشعة تحت الحمراء لأول أكسيد الكربون مقابل غاز قياسي وتحويله إلى تركيز أكسيد الكربون في خلية القياس. قد تتسبب الغازات الأخرى التي تمتص الأشعة تحت الحمراء أيضًا، مثل أكسيد الكربون والماء في حدوث تداخل.

3.3.3. أول أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)

الجدول 10: طرق رصد أول أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)

الطريقة	المرجع	نظرة عامة على طريقة التشغيل
التلألؤ الكيميائي في مرحلة الغاز Gas Phase Chemi-luminescence	CFR 40, Part 50, App. F EN14211: 2012	يستخدم التلألؤ الكيميائي في الطور الغازي لقياس إجمالي أكاسيد النيتروجين (NO_2، NO، NOx). إنها الطريقة الأكثر استخدامًا لقياس تركيزات أكاسيد النيتروجين نظرًا لدقتها وموثوقيتها. عن طريق المحفز (Catalyst)، يتم تقليل أكاسيد النيتروجين أولاً إلى أكسيد النيتروجين ويقاس الأخير ضوئيًا عند 600 نانومتر بعد التفاعل مع الاوزون. عند تجاوز المحفز، يتم قياس أول أكسيد النيتروجين وطرحه من إجمالي أكاسيد النيتروجين من أول أكسيد النيتروجين، يتم تحديد تركيز ثاني أكسيد النيتروجين. قد تحدث التداخلات بسبب مركبات النيتروجين الأخرى. تنشأ التداخلات من: **1.** نظرًا لأنه يتم قياس إشارة الانبعاث الناتجة باستخدام أنبوب مضاعف ضوئي (PMT)، يمكن أيضًا اكتشاف عمليات التلألؤ الكيميائي الأخرى. يتم تقليل المساهمات في الانبعاثات المقاسة من الأنواع الأخرى باستخدام مرشح أحمر على الكاشف لمنع أطوال موجات الانبعاثات التي تقل عن ca. 600 nm، وباستخدام دورة طرح في الخلفية **2.** تتناوب أدوات الإضاءة الكيميائية عادةً بين وضعي تشغيل: أحدهما يقيس مباشرة أول أكسيد النيتروجين والآخر يقيس $\Sigma(NO + NO_2)$، عن طريق تحويل ثاني أكسيد النيتروجين إلى أول أكسيد النيتروجين أولاً بمساعدة عامل محفز مثل الموليبدينوم (Mo) الذي يتم تسخينه إلى 300-350 درجة مئوية. يمكن أيضًا تحويل التداخلات من الملوثات الأخرى مثل حمض النيتريك HNO_3 و حمض النيتروز HONO و خماسي أكسيد النيتروجين $N2O_5$ و $HO2NO_2$ حمض البرنيتريك وPAN و NO_3 والنترات العضوية) إلى NO. قد يكون أحد الحلول هو استخدام أداة مجهزة بمراحل تحويل ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 التحلل الضوئي حيث يضيء محول LED للضوء الأزرق في خلية تحلل ضوئي وتحويل ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 إلى أول أكسيد النيتروجين NO. ومع ذلك، فقد ثبت أيضًا أن هذا الأخير يقدم القطع الأثرية من توليد جذور HOx من خلال التحلل الضوئي لأنواع الكربونيل القابلة للضوء مثل الجليوكسال، وتشكيل جذور بيروكسية تعزز تحويل أول أكسيد النيتروجين NO إلى ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 داخل الأداة (Villena .G., 2012)

3.3.4. الأوزون (O_3)

الجدول 11: طريقة رصد O_3

الطريقة	المرجع	الوصف
التلألؤ الكيميائي Chemi-luminescence	CFR 40, Part 50, App. D	يتم خلط الهواء المحيط المحتوي على الأوزون مع الإيثيلين. في منطقة الخلط، يتفاعل الإيثيلين أو أكسيد النيتروجين مع الأوزون، وينبعث منه ضوء. يتم الكشف عن الضوء بواسطة أنبوب مضاعف ضوئي (PMT) يحول الضوء إلى تدفق إلكترونات يتناسب مع شدة الضوء. يتم تضخيم تيار الصورة الناتج وعرضه. بخار الماء هو المصدر الوحيد المحتمل للتداخل، لذا فإن التعديلات المناسبة ستضمن الحصول على نتائج دقيقة.
قياس الضوء فوق البنفسجي U.V. Photometry	EQOA190-0410- EQOA215-0514- EQOA105-0895- EQOA148-0206- EQOA053-0881- EQOA165-0407- EN14625:2012	يتم سحب عينة من الهواء إلى "حجرة الخلط" في الجهاز ويتم تعريضها للأشعة فوق البنفسجية بطول موجة يبلغ 254 نانومتر. يمتص الأوزون ضوء الأشعة فوق البنفسجية بما يتناسب مع تركيزه (ومعايير أخرى) ويقارن بعينة هواء بدون أوزون. لتقليل التداخلات، تستخدم معظم أجهزة رصد O_3 ذو الأشعة فوق البنفسجية أجهزة تنقية غاز ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2). نظرًا لأن جزيء O_3 فريد تقريبًا في امتصاصه لخط انبعاثات الزئبق (Hg) عند 254 نانومتر، فإن القليل من المركبات المحتملة مثل بخار الماء ستتداخل مع هذه الطريقة. لكن تداخل بخار الماء يعني أن التغير في الرطوبة النسبية كما هو الحال في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية يلعب دورًا رئيسيًا في التأثير على انتقال ضوء الأشعة فوق البنفسجية. أفادت الدراسات الحديثة أيضًا عن تداخلات مع الجسيمات الدقيقة.

3.3.5. ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)

الجدول 12: طريقة رصد ثاني أكسيد الكبريت

الطريقة	المرجع	الوصف
طريقة باراروسانيلين Pararosaniline Method	CFR 40, Part 50, App. D	يتم وضع حجم معروف من الهواء في فقاعات خلال محلول رباعي كلورو كلورو كورات البوتاسيوم 0.04 متر. يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 في العينة مع هذا المحلول ويشكل مركبًا ثابتًا أحادي كلورو سلفونات مرآبات. ثم يتفاعل هذا المركب مع الفورمالديهايد وصبغة الباراروسانيلين المصفى بالحمض لتشكيل حمض باراروسانيلين ميثيل سلفونيك الملون أثناء التحليل. يتم تحديد الكثافة الضوئية وكمية ثاني أكسيد الكبريت التي تم جمعها باستخدام مقياس طيف ضوئي عند 548 نانومتر. يتم الحصول على الحجم الإجمالي لعينات الهواء من معدل التدفق المقاس ووقت أخذ العينات.
اللمعان او الإسفار فوق البنفسجي U.V. Fluorescence	EQSA077-0990- EQSA188-0809- EQSA046-0580- EQSA039-0779- EN14212:2012	يطلق SO_2 لمعانا مميزًا عندما يتم تعرضه الى الأشعة فوق البنفسجية من 190 إلى 230 نانومتر. يمتص الجزيء هذه المنطقة من الضوء، بينما لا يمتص معظم الملوثات الأخرى في الهواء. يتم تمرير حزمة شعاع عبر عينة والإشعاع المتبقي (المضمحل) نتيجة مروره بالعينة يتم تمريره من خلال مرشح وأنبوب مضاعف ضوئي، مما يسمح بقياس التركيز. نظرًا لأن بخار الماء والأكسجين قد يتسببان في تداخلات عند أطوال موجية معينة، فمن المستحسن إزالة بخار الماء باستخدام مجفف أو عن طريق اختيار أطوال موجية معينة لتقليل الخطأ. يوصى أيضًا بتخفيف عينة هواء بالنيتروجين لتقليل تركيز الأكسجين وبالتالي الخطأ المحتمل. هذه هي الطريقة الأكثر استخدامًا بسبب فعاليتها من حيث التكلفة ودقتها وبساطتها. إنها قادرة على قياس عينات معينة جدًا، وبمساعدة أشعة الليزر فوق البنفسجية الإضافية، يمكن التخلص من أي تداخلات أو تداخل محتمل.

3.3.6. الرصاص (Pb)

الجدول 13: طريقة رصد الرصاص Pb

الطريقة	المرجع	الوصف
التحليل الطيفي الكتلي للبلازما المقترنة بالحث (ICP-MS)	CFR 40, Part 50, App. G	يتم جمع الهواء المحيط PM على مرشح. يذوب الرصاص الموجود في الجسيمات عن طريق الاستخلاص بحمض النيتريك بمساعدة الحرارة والموجات فوق الصوتية وخليط من حمض النيتريك وحمض الهيدروكلوريك. يتم تحويل العينة السائلة إلى هباء جوي بمساعدة البخاخات. ويتم تفتيت الهباء الجوي عند تمريره عبر غرفة البلازما ثم يتم فصل الذرات وتحديدها باستخدام مطياف الكتلة.
قياس الطيف الضوئي بالأشعة السينية X-Ray Fluorescence Spectrometry	EQL058-0783- EQL072-0589-	يتم تمرير إشعاع الأشعة السينية عبر العينة مما تتسبب في إصدار الجسيمات لمعة مضان فريدة من نوعها للتركيب الكيميائي للرصاص. تركيز الرصاص يتناسب طرديا مع شدة الانبعاث الفلوري.
مطيافية الامتصاص الذري اللهب / عديم اللهب Flame/Flameless Atomic Absorption Spectroscopy	EQL044-0380- EQL107-0895-	يتم إدخال عينة سائلة إلى اللهب أو الفرن الذي يقسم الجزيء إلى ذرات غازية. يتم توجيه الضوء الذي يمر عبر عينة الاحتراق إلى أنبوب مضاعف ضوئي للكشف عن تركيز الرصاص.

الجدول 14: رصد غازات متعددة في وقت واحد

الطريقة	المرجع	الوصف
التحليل الطيفي التفاضلي لامتصاص الضوء المرئي (DOAS) Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS)	EQOA103-0495- EQOA137-0400- EQNA139-0400-	DOAS هو نظام طيفي يعتمد على امتصاص الضوء للغازات بأطوال موجية مختلفة. يتكون النظام من ثلاث مكونات رئيسية: مصدر ضوء وكاشف ومحلل. يرسل مصدر الضوء شعاعًا من الضوء بأطوال موجية مختلفة عبر مسار محدد إلى الكاشف. المسافة بين مصدر الضوء والكاشف هي طول المسار، بالنسبة لتطبيقات جودة الهواء المحيط، فإن يكون في حدود عدة مئات من الأمتار. تتطلب أنظمة DOAS مستويات عالية من الصيانة والمعايرة خاصة في مناطق مثل منطقة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية حيث يمكن أن تتداخل الرطوبة النسبية العالية ودرجة الحرارة مع القمم التي يتم قياسها.
أجهزة رصد منخفضة التكلفة Low-cost monitors		توفر أجهزة المراقبة منخفضة التكلفة فرصة لجمع معلومات حول جودة الهواء لأهداف مثل الصحة العامة أو مدى مشاكل جودة الهواء التي تؤثر على المجتمعات. تتطلب هذه الأجهزة معايرة وصيانة ثابتة حيث تتأثر حساسيتها بالعوامل البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة والضغط (Clements Andrea L et al, 2017) لاحظ أن أداء الأجهزة منخفضة التكلفة قد يتأثر أيضًا بأحمال الهباء الجوي. يوصى بتطوير منحنى تصحيح معتمدا على جهاز قياس PM ثابت في محيط الموقع ويخضع للفحص بشكل متكرر لكل جهاز قبل التثبيت.

يجب إيلاء عناية خاصة في تركيب جهاز او مشعب (Manifold) لأخذ عينات الهواء على محطة المراقبة في المناطق التي تتكرر فيها العواصف الرملية والغبار (أنظر أيضًا **القسم 3.4**). والغرض من ذلك هو التأكد من عدم تقييد وهج الهواء وتقليل الرطوبة الزائدة، وانخفاض الضغط، واحتباس الغبار. يجب إغلاق المأوى الذي يحتوي على نظام الرصد بإحكام، مما يعكس أشعة الشمس ويتم تبريده في جميع الأوقات من أجل حماية الأجهزة من الغبار الزائد وتقليل الانجراف الإلكتروني بسبب ارتفاع درجة الحرارة والإشعاع الشديد. إذا كان استخدام الغبار والرطوبة DOAS قد تضعف أو تعوق الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء بينما يتسبب أيضًا في حدوث تداخل كبير من إشارات المياه. ولذلك قد لا يكون DOAS أفضل أداة في هذه الحالة.

طرق رصد الهواء المحيط الإلزامية

لرصد معايير الملوثات، يوصى باستخدام:

PM ($PM_{2.5}$ & PM_{10})	ترشيح الجسيمات داخل المكدس، وطرق القياس الوزني، أخذ عينات الهواء ثنائي والتفرع، ومراقبة توهين بيتا، وتوازن تأرجح العنصر المدبب الدقيق، وطرق تشتت الضوء، والتحليل الطيفي للهباء بالليزر
أول أكسيد الكربون CO:	القياس الضوئي غير المشتت بالأشعة تحت الحمراء
ثاني أكسيد النيترات NO_2:	تلألؤ كيميائي لمرحلة الغاز، مطياف الامتصاص البصري التفاضلي وتحويل الضوء فوق البنفسجي
الأوزون O_3:	التلألؤ الكيميائي للإيثيلين، التحليل الطيفي للامتصاص البصري التفاضلي والقياس الضوئي فوق البنفسجي
ثاني أكسيد الكبريت SO_2:	طريقة باراروسانيلين وفلورة الأشعة فوق البنفسجية
الرصاص Pb:	التحليل الطيفي الكتلي للبلازما المقترن حثيًا، قياس الطيف الفلوري بالأشعة السينية ومطياف امتصاص ذري لهب/بلا لهب

3.4. اختيار أجهزة الرصد المناسبة

عادة ما يعتمد اختيار أنسب أجهزة الرصد على عدة عوامل. إن الغرض من إنشاء شبكة رصد يحدد حساسية الجهاز ودقته. قد يتطلب الامتثال لمعايير جودة الهواء في الدولة، على سبيل المثال، مستوى أعلى من الحساسية والدقة مما هو مطلوب لأغراض الفحص. يحدد النطاق المطلوب للقياسات حد الاكتشاف ودقة الجهاز، بينما مدة وطريقة النشر تؤثر على القرار بشأن الحجم والوزن والمتانة والاتصال وتكرار الصيانة المحددة. سيتطلب موقع أخذ العينات وتركيب الجهاز تعديل مراعاة درجة الحرارة والتحكم في الرطوبة وظواهر الغبار والثلج والضباب وظروف الأرصاد الجوية الأخرى. يجب أيضًا مراعاة القدرات والموارد البشرية المحلية عند اتخاذ قرار بشأن الأجهزة التي ستتطلب معايرة متكررة ووضع إجراءات لضمان الجودة / مراقبة الجودة. يجب دمج كل هذه العوامل في الميزانية من أجل اتخاذ القرار النهائي (New Zealand Ministry of the Environment, 2009).

يمكن في المناطق التي تتعرض لفترات متكررة من الغبار مثل دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية تركيب مشعب خاص لأخذ عينات الهواء على حاوية محطة المراقبة مع أجهزة تحليل غاز متعددة لتقليل الرطوبة الزائدة، وانخفاض الضغط، واحتباس الغبار. تشتمل تصميمات المشعب (Manifold) الشائعة الاستخدام إما على زجاج البورسليكات التقليدي (Pyrex) أو مشعب الكوارتز مع محرك منفاخ. ويمكن تحسين محطة المراقبة بشكل أكبر عن طريق متكرر من أن يكون تدفق الهواء غير مقيد، وتركيب مصيدة مياه في المشعب، والتأكد من تكوين أجهزة تحليل الغاز باستخدام مرشح داخلي موجود. يحتاج المأوى الذي يحتوي على نظام المراقبة إلى حماية الأجهزة من الغبار والأوساخ الزائدة أو الضوء الشديد أو الإشعاع. وفي حالة استخدام أداة بصرية مثل DOAS، ينبغي النظر في جعل مسار الرصد قصير لتقليل فقدان البيانات بسبب العوائق البصرية المؤقتة من الغبار.

اختيار أجهزة الرصد المناسبة

العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار أجهزة الرصد المناسبة هي: الغرض من الرصد، وحد الكشف ومدى الدقة، والقدرة على التوافق مع معايير الرصد ذات الصلة، ومدة وطريقة النشر، وتكرار المعايرة، والقدرة على التواصل عن بعد، والمتطلبات البيئية، سهولة الاستخدام والموقع وظروف الأرصاد الجوية والتكلفة.

04

4. مكان الرصد ؟ - اختيار مواقع الرصد

4.1. أن تكون مواقع الرصد ممثلة

يتطلب اختيار موقع الرصد المناسب تحديد مقاييس التمثيل المكاني والزماني المرغوبة.

4.1.1. التمثيلي المكاني

يحدد القانونان EU (التوجيه 2008/50/EC، المعدل بالتوجيه (EU) 2015/1480) ولوائح الولايات المتحدة EPA **(40 CFR Part to D 58 الملحق)** معايير شاملة لضمان تمثيل مواقع أخذ العينات. كلاهما ينص على أن الموقع:

1. يلتقط أعلى نسبة تعرض للسكان
2. يعكس التركيزات النموذجية للمناطق ذات الكثافة السكانية العالية
3. يمثل تأثير المصادر المحيطة
4. تتعرض أيضا لانتقال الملوثات الإقليمية
5. يمثل بشكل جيد تقلبات الطقس

تتم ترجمة التمثيل المكاني إلى مقاييس مكانية يتم تحديدها من حيث الأبعاد المادية للطرود الهوائية الموجودة بالقرب من الموقع. يتم وصف المقاييس المكانية للتمثيل في **القسم 4.2.**

4.1.2. التمثيل الزماني

تختلف المقاييس الزمانية بين الملوثات، وعادة ما تعكس تقلبات الطقس والتغيرات في مستويات الانبعاث. يوفر التحليل الزمني نظرة ثاقبة لدورات إنتاج وتشتت الملوثات ويأخذ في الاعتبار التمثيل الزمني لموقع الرصد. تشمل تقنيات التحليل الزماني تحليلات يومية وأسبوعية وموسمية. توضح طريقة التحليل النهاري التوزيع الزماني لتركيز الملوثات لكل ساعة من اليوم. يوفر هذا معلومات عن تباين مستويات الانبعاث في يوم واحد. تحدد تقنية التحليل الأسبوعي التوزيع الزماني لمستويات الملوثات لكل يوم من أيام الأسبوع (UK Environment Agency, 2011). أخيرًا، تعطي طريقة التحليل الموسمي نظرة ثاقبة على التوزيع الزماني للملوثات لكل شهر من العام. ولتحديد كيفية مقارنة جودة الهواء بالسنوات السابقة وكيف تتغير مستويات الملوثات بمرور الوقت، يُقترح إجراء تحليل الانحدار على المتوسط السنوي والإحصاءات الأخرى.

4.2. تصنيفات المواقع

يتم تحديد موقع الرصد مع الأخذ بعين الاعتبار أهداف الرصد ونوع موقع الرصد المطلوب. يعتبر تصنيف الموقع حسب نوعه والمقياس المكاني للتمثيل مهمًا في تفسير بيانات الرصد. على سبيل المثال، لتحديد تركيز أكسيد الكربون في المناطق التي بها مستويات عالية من أكسيد الكربون، سيكون من المناسب استخدام مقياس مجهري وموقع متوسط الحجم(U.S Environmental Protection Agency, n.d). عادة ما تكون المناطق التي تحتوي على الحد الأقصى لأكسيد الكربون مناطق ذات كثافة مرورية عالية وتهوية جوية سيئة. تم وصف المقاييس المكانية المختلفة التي تستخدمها وكالة حماية البيئة الأمريكية في **الجدول 15**. يوضح **الجدول 16** أنواع المواقع المختلفة وعلاقتها بمقاييس تحديد الموقع. تم وصف النهج المتبع في الاتحاد الأوروبي في **الجدولين 17 و 18**.

الجدول 15: تصنيف المواقع (نهج الولايات المتحدة)

(المصدر: https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D_to_part_58)

المقاييس المكانية	الوصف
نطاق صغير	التركيزات في أحجام الهواء المتعلقة بمساحات تتراوح بين عدة أمتار إلى حوالي 100 متر.
نطاق متوسط	التركيزات في المناطق ذات الأبعاد التي تتراوح بين حوالي 100 متر إلى 0.5 كيلومتر.
نطاق الحي	تركيزات داخل منطقة ممتدة من المدينة بأحجام هواء مرتبطة بأبعاد المنطقة تتراوح من 0.5 إلى 4.0 كيلومترات.
النطاق حضري	تركيزات في منطقة شبيهة بالمدينة تتراوح أبعادها من 4 إلى 50 كيلومترًا.
النطاق الإقليمي	تركيزات في منطقة ريفية ذات جغرافيا متجانسة نسبيا بدون مصادر كبيرة، مع وجود كميات من الهواء مرتبطة بأبعاد تتراوح بين 10 إلى 100 كيلومتر.
النطاقات الوطنية والعالمية	مقاييس النطاقات التي تمثل التركيزات على الصعيد الوطني أو العالمي.

الجدول 16: العلاقة بين نوع الموقع والنطاق المكاني للنطاق التمثيلي (نهج الولايات المتحدة)

نوع الموقع	الوصف	النطاق المكاني للتمثيل
أعلى تركيز	تحديد أعلى تركيزات متوقعة في المنطقة	نطاق صغير نطاق متوسط نطاق الحي (في بعض الأحيان الإقليمية أو الحضرية للملوثات التي تشكلت بشكل ثانوي).
التوجه السكاني	تحديد التركيزات النموذجية في المناطق المأهولة بالسكان	نطاق الحي نطاق حضري
تأثير المصدر	تحديد تأثير المصادر الهامة على جودة الهواء	نطاق صغير نطاق متوسط نطاق الحي
خلفية عامة/ النقل الإقليمي	تحديد مستويات تركيز الخلفية العامة	نطاق حضري نطاق اقليمي
التأثيرات المتعلقة بالرفاهية	تحديد آثار الملوثات على الرفاهية	نطاق حضري نطاق اقليمي

الجدول 17: تصنيفات المواقع (نهج الاتحاد الأوروبي)

المقاييس المكانية	الوصف
نطاق حضري	مناطق ذات كثافة سكانية عالية وكثافة مرورية في مراكز المدن «القديمة»
نطاق الضواحي	المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة والكثافة المرورية المنخفضة مقارنة بالمناطق الحضرية
نطاق ريفي	مناطق ذات كثافة سكانية منخفضة للغاية وكثافة مروري

الجدول 18: العلاقة بين نوع الموقع ونوع المنطقة (نهج الاتحاد الأوروبي)

نوع الموقع	الوصف	النطاق المكاني للتمثيل
حركة مرور	يقع بالقرب من طريق رئيسي	حضري
صناعي	يقع بالقرب من مصدر أو منطقة صناعية (توليد الطاقة الحرارية، محطات التدفئة، المصافي، محارق النفايات، المطارات، الموانئ، مواقع التعدين)	الضواحي
خلفية	لا تصنف على أنها «حركة مرور» ولا «صناعية.» تقع بحيث يتم تمثيل متوسط تعرض عامة السكان للتلوث. لا يهيمن نوع مصدر واحد على مستوى التلوث (مثل حركة المرور والصناعة) ما لم يكن هذا النوع من المصدر نموذجيًا داخل المنطقة الخاضعة للرصد ممثل لمنطقة أوسع (عدة كم^2)	ريفي

4.3. اعتبارات اختيار الموقع

اعتمادًا على أهداف أخذ العينات، ينبغي النظر في المعايير الملخصة في **الجدول 19** لاختيار الموقع، إما بشكل مستقل أو مجتمعة.

الجدول 19: اعتبارات اختيار الموقع

العوامل	الوصف
صلاحية المواقع على المدى الطويل	يجب إيلاء اعتبار كبير لمدة خطة الرصد. إذا كان الغرض من الرصد هو الحصول على بيانات طويلة الأجل، فيجب اختيار موقع يكون متاحًا على المدى الطويل. من المستحسن الحصول على تسجيلات بيانات لمدة سنة واحدة على الأقل في كل موقع.
الأمن	قد لا يكون موقع معين مناسبًا لتركيب محطة رصد محيطة بسبب مشاكل تتعلق بأمان الجهاز. مداخل العينات هي الأكثر عرضة للخطر لأنها يجب أن تكون على ارتفاع مقابل مخرج تنفس الإنسان. يمكن أن يكون إقامة سياج أمني خيارًا متاحاً إذا توفرت المساحة.
الخدمات اللوجستية	تشير اللوجستيات إلى عملية الحصول على المواد والأفراد ونقلها وصيانتها من أجل عملية الرصد. يجب أن تتمتع المواقع بسهولة الوصول حتى تتمكن من نقل أسطوانات المعايرة وغيرها من المعدات الضخمة من وإلى الموقع. وفي المواقع على جانب الطريق، قد يكون من الصعب تحديد موقع مصدر الطاقة، ولكن من الممكن في بعض الأحيان استخدام مصدر الطاقة من مصابيح الشوارع عن طريق تمرير كيبل مدرع أسفل الرصيف.
الطبوغرافيا	تؤثر السمات الطوبولوجية على نقل ملوثات الهواء. يوصى بمراجعة تضاريس المنطقة للتأكد من أن الغرض من الرصد في ذلك الموقع لن يتأثر سلبًا.
تدفق الهواء المقيد حول مدخل العينة	يجب ألا تكون المواقع قريبة من الجدران أو المباني أو الأشجار أو تحت المساحات الخضراء المتدلية التي يمكن أن تؤثر على تدفق الهواء.
التداخلات الفيزيائية والكيميائية	قد تأتي التداخلات من الاختلافات الفيزيائية الزمنية ومن التفاعلات الكيميائية لبعض الملوثات مع أخذ عينات من الغاز.
الانبعاثات المحلية	يجب أن تكون المواقع بعيدة عن المصادر المجاورة.
الاقتصادية	يوصى بمراعاة الموارد المطلوبة لكامل نشاط جمع البيانات، بما في ذلك الموارد البشرية، والأجهزة، والتركيب، ومعدات السلامة، والصيانة، واسترجاع / نقل البيانات، وتحليل البيانات، وضمان الجودة، وتفسير البيانات.

اختيار موقع الرصد

عند اختيار موقع الرصد، ينبغي النظر في التمثيل ونوع موقع الرصد وكذلك قابلية الموقع على المدى الطويل، بما في ذلك الأمن، واللوجستيات، والتضاريس، وظروف الأرصاد الجوية واعتبارات الملوثات، وتدفق الهواء في المدخل، والتداخلات، الانبعاثات المحلية والعوامل الاقتصادية.

05

5. إرشادات إدارة البيانات

يجب أن تعمل البيانات المجمعة على تحقيق أهداف جودة البيانات وتمكين التقييم الكمي لجودة الهواء وامتثالها للمعايير الوطنية والإقليمية ذات الصلة، والقيم الحدية، والمبادئ التوجيهية والقواعد الأخرى. إن الأدوات المستخدمة في الحصول على بيانات جودة الهواء ومعالجتها وتقييمها يجب أن تولد بيانات مقبولة لدى السلطة الوطنية والهيئات الخليجية وبموجب المعايير الدولية من حيث الكمية والنوعية وكذلك كيفية تخزينها وعرضها ونقلها.

وفيما يلي وصف للمبادئ التوجيهية العامة لإدارة البيانات، التي يمكن تطبيقها عالميًا، للامتثال لأهداف جودة البيانات. يمكن تعديل بعض المؤشرات الموصوفة على أساس كل دولة على حدة أو على أساس إقليمي بعد تحديد أهداف جودة البيانات.

الغرض الرئيسي من إرشادات إدارة البيانات هو التأكد من أن البيانات المجمعة ذات جودة عالية بما يكفي للسماح بتفسيرها وما يترتب على ذلك من تطوير استراتيجيات للتخفيف من تلوث الهواء. لذلك فإن ضمان جودة البيانات له أهمية قصوى. تهدف إرشادات إدارة البيانات أيضًا إلى ضمان حفظ المعلومات وتقارير البيانات المنهجية. الأبعاد الرئيسية لجودة البيانات هي:

الاتساق Consistency يمثل الاتساق المستوى الذي تمثل فيه البيانات القيمة الحقيقية وتؤكد بمصدر مرجعي.

الدقة المستوى الذي تمثل فيه البيانات القيمة الحقيقية وتؤكد بمصدر مرجعي.

الصحة يمكن تتبع جميع البيانات الموجودة في قاعدة البيانات وربطها ببيانات أخرى.

الكمالية تغطي مجموعة البيانات أكثر من 75٪ من الساعة أو اليوم أو الموسم أو السنة.
مزيد من التفاصيل في **القسم 5.1.5**

حسن التوقيت يتم نشر البيانات ومشاركتها في الوقت المناسب

يرتبط ضمان الجودة ومراقبة الجودة (QA/QC) عمومًا بعملية رصد جودة الهواء الكاملة، بما في ذلك اختيار الأجهزة واختيار الموقع وعمليات المعايرة والصيانة وجمع البيانات وتخزينها، فضلاً عن خبرة الموظفين والكفاءة الفنية (New Zealand Ministry of the Environment, 2009). QA هو النظام المتكامل الذي يتضمن تحديد أهداف الرصد وجودة البيانات، وتصميم الشبكة، واختيار الموقع، وتقييم المعدات والتدريب لضمان تلبية القياسات لمعايير الجودة المحددة. أما QC فهي الإجراءات التشغيلية والفحوصات التي تستخدم لتقييم أداء المعدات بالنسبة للمعايير المرغوبة أو المحددة. وتشمل QC أيضًا الفحوصات أو المقارنات التي يتم إجراؤها أثناء التحقق من صحة البيانات بغرض تحديد البيانات التي قد تكون غير صالحة أو مشكوك فيها أو بحاجة إلى تعديل (American Society for Quality, 2021).

توفر الأقسام التالية إجراءات لتنفيذ ضمان الجودة / مراقبة الجودة، بدءًا بمعايرة الأجهزة وصيانتها، يليها الحصول على البيانات، ثم أخذ العينات وتخزين البيانات، وأخيراً قبول البيانات. ثم يتم وصف تفاصيل ما يجب توثيقه كجزء من إجراءات ضمان / مراقبة الجودة. سيتم معالجة التحديات التي تواجه دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية المتعلقة بجمع البيانات (خاصة بالنسبة للجسميات الدقيقة) والتقييم وإعداد التقارير في نهاية القسم. يتم عرض الاعتبارات التي يجب أخذها عند التعامل مع وحدات الرصد ومعاملات التحويل وكذلك مع البيانات السلبية والضائعة بالتفصيل في الملحقين أ وب، على التوالي.

5.1. العناصر الأساسية لضمان الجودة / مراقبة الجودة

يسلط هذا القسم الضوء على المبادئ الأساسية لضمان الجودة / مراقبة الجودة وكيفية منع البيانات ذات الجودة الرديئة والأخطاء. ويعد التركيز على الحصول على بيانات عالية الجودة أكثر قيمة من التركيز على كمية البيانات التي يتم جمعها. ولتجنب رداءة جودة البيانات التي تمنع استخدام البيانات للغرض المقصود منها وتفرض تحديات يمكن تجنبها في تحليل البيانات، يجب تنفيذ إجراءات ضمان / مراقبة الجودة بمجرد إنشاء موقع الرصد وكل ذلك من خلال عملية الرصد. بدايةً، يجب تنفيذ إجراءات ضمان الجودة / مراقبة الجودة في معايرة الجهاز وصيانته. بعد ذلك، يجب تنفيذ الإجراءات أثناء الحصول على البيانات، وتخزين العينات والبيانات، وأخيراً، في عملية قبول البيانات التي تتكون من التحقق من البيانات، وتعديل البيانات، والتحقق من صحة البيانات. هذا مهم لضمان جودة البيانات قبل تحليل البيانات وتفسيرها.

5.1.1. معايرة الأجهزة وصيانتها

تعد معايرة الأجهزة عنصرا لا غنى عنه لضمان الجودة / مراقبة الجودة وجزء حيوي من إدارة موقع رصد الهواء المحيط. لا يمكن ضمان جودة البيانات بدون المعايرة المناسبة، مما يجعل تحليلات البيانات اللاحقة غير موثوقة، لا سيما في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية حيث تتداخل الرطوبة النسبية وتقلبات درجة الحرارة مع أجهزة الرصد.

تُعرَّف المعايرة بأنها عملية اختبار وضبط قياسات الجهاز من خلال مقارنة استجابة الجهاز بقيمة مرجعية معروفة. تتعرض الأدوات والأجهزة لتأثيرات مختلفة قد تؤثر على القيمة المقاسة على مدار الوقت، وستؤدي القياسات غير الدقيقة والأخطاء والتحيزات إلى اخلال جودة البيانات (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). لذلك يوصى بإجراء المعايرة بانتظام، وأن يتم إجراؤها في موقع الرصد. تتطلب الأجهزة المختلفة ترددات معايرة وصيانة مختلفة. من حيث المبدأ، يجب أن تتبع معايرة الجهاز وصيانته توصيات ومتطلبات الطريقة المعيارية المناسبة، مثل تلك الخاصة بـ USEPA، أو EU، أو المعايير البريطانية، أو المنظمة الدولية للمعايير (ISO)، وتعليمات الشركة المصنعة (New Zealand Ministry of the Environment, 2009). يتم اتباع معايرة أجهزة الرصد عمومًا بتعليمات معايرة مفصلة تنتجها الشركة المصنعة للأجهزة.

يجب اختبار المحلل (Analyzer) الذي تتم معايرته باستخدام عينات ذات تركيزات ملوثات معروفة لاكتشاف الانحرافات. يوصى بتشغيل المحلل في وضع أخذ العينات العادي لعدة ساعات لتحقيق الاستقرار في تشغيله قبل معايرته. للتوضيح، يتم إجراء معايرة الأداة بشكل مثالي في ظل نفس ظروف الأرصاد الجوية وهواء الخلفية ونطاقات التركيز مثل تلك التي سيجمع المحلل البيانات فيها. يجب إجراء المعايرة على فترات منتظمة وكلما:

تم استخدام جهاز جديد وبعد إصلاح الجهاز

- تم إخراج الجهاز من المعايرة بسبب الصدمات أو الاهتزازات
- أصبحت الملاحظات موضع تساؤل
- تم نقل الجهاز
- توقف تشغيل الجهاز لأكثر من بضعة أيام

معايرة الأجهزة

يجب إجراء معايرة الأجهزة بانتظام في موقع الرصد وعندما يتم تثبيت جهاز جديد أو إصلاحه أو إخراجه من المعايرة بسبب الصدمة أو تغيير مكانه. ويجب أيضًا إجراء المعايرة عندما يكون الجهاز غير فعال لأكثر من بضعة أيام وعندما تصبح الملاحظات موضع شك.

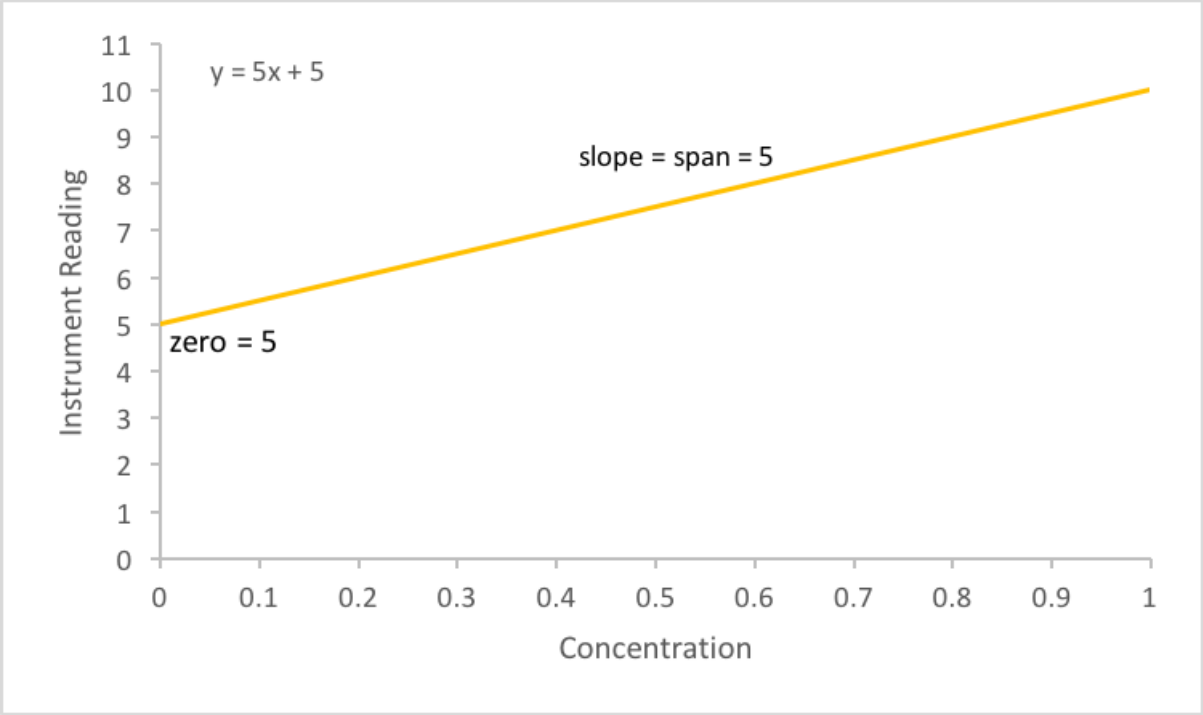
مراحل المعايرة هي كما يلي:

1. مقارنة استجابة المحلل بتركيز المرجع
يتم اختبار أجهزة تحليل الغاز ضد الهواء «الصفري»، أو الهواء الذي لا يحتوي على أي من الملوثات ذات الصلة لتحديد دقة الجهاز. ثم يتم اختبار الجهاز عدة مرات بمصدر غاز له تركيز معروف للملوث. وبالتالي، فإن متطلبات معايرة أجهزة تحليل الغاز هي المعايرة أو الغاز المرجعي بتركيز معروف وإمداد الهواء «الصفري». يجب أن تكون مخاليط غاز المعايرة قابلة للتتبع إلى المادة المرجعية القياسية. يمكن تحديد التركيز الحقيقي لغاز المعايرة بواسطة جهاز رصد مرجعي موجود بالقرب من محلل الغاز الذي تتم معايرته.

2. رسم منحنى المعايرة
يحدد منحنى المعايرة العلاقة بين مخرجات مسجل البيانات والتركيز المرجعي للمادة الملوثة. بمعنى آخر، يربط منحنى استجابة مسجل البيانات قراءات المحلل بتركيزات غازات الوحدة المعروفة. بعد إعداد مجموعة من المعايير التي تحتوي على تركيز ملوث معروف، ويتم قياس استجابة الجهاز لكل معيار لتطوير علاقة بين الاستجابة والتركيز. يمكن أن يكون المنحنى خطيًا أو غير خطي. تُستخدم العلاقة لتحويل القياسات التي تم إجراؤها على عينات الاختبار إلى تقديرات لتركيز الملوث.

تُستخدم طرق المعايرة متعددة النقاط للتحقق من خطية أجهزة التحليل بعد الصيانة الرئيسية بترددات محددة عند التثبيت (Barwick, 2003). ويتم رسم قراءات المحلل مقابل التركيزات المرجعية، جنبًا إلى جنب مع منحنى يناسب النقاط بشكل أفضل. تحليل انحدار المربعات الصغرى هو شكل من أشكال التحليل الرياضي المستخدم لتحديد الانحدار والتقاطع لأفضل خط معايرة مناسب للنموذج: **(استجابة الجهاز) = (منحدر المعايرة) * (تركيز الملوثات الفعلي) + (تقاطع المعايرة)** حيث:

يوضح الشكل 1 مثالا لمنحنى معايرة نموذجي.



الشكل 1: منحنى المعايرة النموذجي

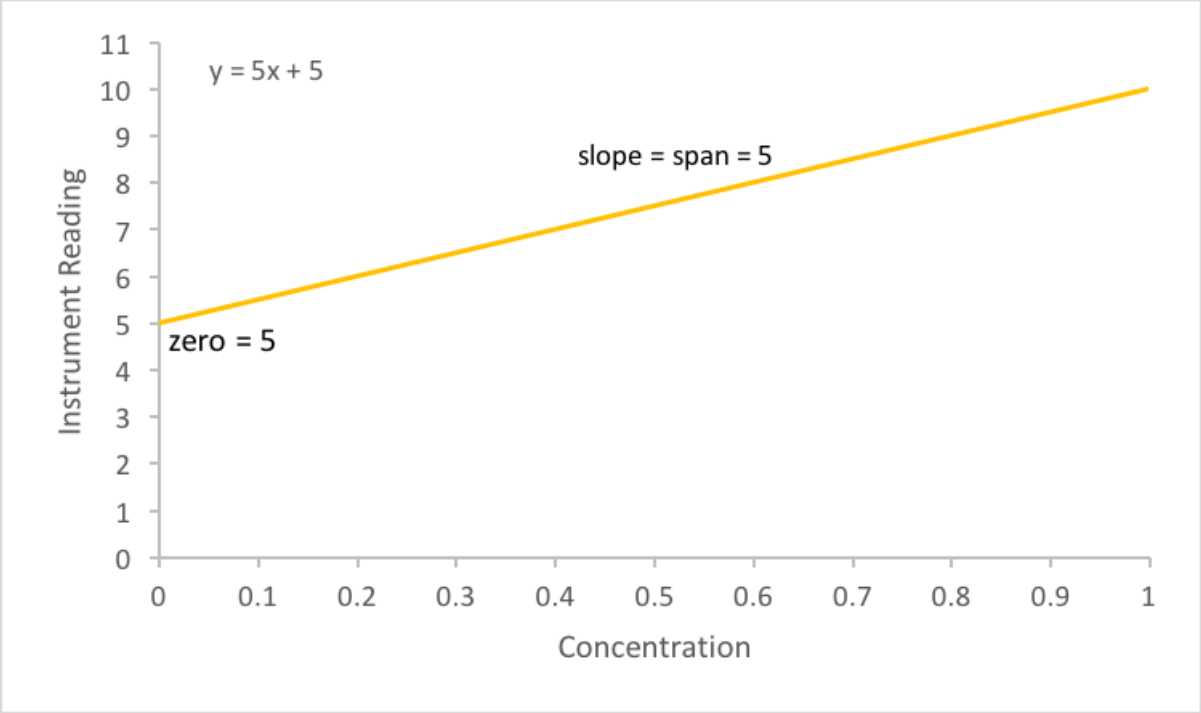
منحنى المعايرة

يوصى ببناء منحنى معايرة قبل الرصد. للقيام بذلك، يتم إعداد عينات من ملوثات المعايير ذات التركيزات المعروفة وتسجيل قراءة الجهاز. يتم بناء منحنى المعايرة عن طريق رسم منحنى قراءة الجهاز مقابل التركيزات المعروفة للملوثات.

3. إجراء تعديلات الصفر والمدى

تعد عمليات التحقق من ضبط الصفر والمدى هي مراحل معايرة التي تحدد أداء وموثوقية انحراف الجهاز بمرور الوقت. في بعض الأحيان، لا يقرأ الجهاز **«0»** لمدخلات خالية من الملوثات. بمعنى آخر، تقاطع **y** لمنحنى المعايرة ليس صفر، كما هو موضح في الشكل **2.** يسمى الضبط المتعلق بالتقاطع **y** اسم «الصفر»، لذا فإن ضبطه يزيح المنحنى رأسياً. يسمى التعديل المتعلق بميل المنحنى بالمدى.

يجب تنفيذ عمليات التحقق من الصفر / المدى عند تثبيت جهاز الرصد لأول مرة نظرًا لقلة المعلومات أو عدم توفرها على الإطلاق. وعندما تكون هناك معلومات كافية عن أداء انجراف المحلل، يمكن تغيير وتيرة المعايرة بناءً على الاعتبارات المذكورة سابقًا. يتم إجراء عمليات التحقق من الصفر / المدى عن طريق تسجيل استجابة الجهاز عند تركيزات الصفر والمدى. يتم إجراء طرق معايرة الصفر و المدى الروتينية باستخدام «مصدر صفري» مناسب يمكن أن يكون هواء «درجة صفرية».



الشكل 2: الصفر والمدى على منحنى استجابة الجهاز

تتم معايرة المحلل بعد ذلك عن طريق التغيير المادي وذلك لإعداد الجهاز لقراءة التركيز المعروف للغاز المزود، وقراءة استجابات الجهاز «صفر» عند تغذيتها بهواء «صفر». إن مخططات التحكم ضرورية لتمثيل ومراقبة الصفر / المدى. يمكن أن توضح هذه المخططات ما إذا كان الانحراف مفرطًا، بحيث يمكن تطبيق التصحيحات. تعد مخططات التحكم بطرق مختلفة مهمة لتمثيل انحراف جهاز الرصد بشكل مرئي واكتشاف متى يصبح مفرطًا من أجل اتخاذ الإجراءات التصحيحية. عندما يكون الانحراف مفرطًا، يجب إبطال البيانات. لاحظ أن لبعض أجهزة التحليل وظيفة «التصفير التلقائي». لا يوصى بإجراء تعديلات تلقائية أو يدوية على الامتداد ما لم يصبح الانحراف مفرطًا ويبرز المعايرة.

تميل استجابات المحلل إلى الانحراف بشكل غير متوقع مع مرور الوقت. تؤثر العوامل المختلفة في تحيز البيانات ويمكن أن تتطور تدريجيًا. ومع ذلك، نظرًا للتقدم التكنولوجي، فإن أجهزة رصد الهواء المحيط مستقرة للغاية، والتعديلات ليست ضرورية كما كانت في السابق (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). علاوة على ذلك، قد لا يكون من الممكن دائمًا إجراء تعديلات دقيقة لعناصر التحكم في الصفر والمدى بسبب التفاعل بين ضوابط الصفر والمدى، والدقة المحدودة لعناصر التحكم وفترة الاستقرار المتأخرة المحتملة أو رد الفعل على التعديلات. لهذا السبب، لا يوصى بإجراء تعديلات متكررة.

4. صيانة الأجهزة

تعتبر الصيانة الوقائية لمحطات الرصد وأجهزة الرصد مهمة للتشغيل السلس للمحطة وتأمين جودة البيانات. تُعرَّف الصيانة الوقائية بأنها الصيانة المنتظمة للأجهزة لتوفير ظروف التشغيل المثلى وتمنع التوقف عند التعطل (Brammer and Mills, 2007). يمكن أن تتضمن خطط الصيانة الوقائية التعليمات التالية (New Zealand Ministry of the Environment, 2009):

1. إجراء عمليات تفتيش منتظمة لموقع الرصد
2. التحقق من تشخيص الأجهزة للتشغيل العادي
3. فحص مداخل العينات والمرشحات وإصلاحها أو تعديلها حسب الحاجة
4. فحص المضخات (فراغ ومرشحات) وإصلاحها حسب الحاجة
5. التحقق من صحة أوقات مسجل البيانات والجهاز

إن الصيانة عملية مستمرة يتم دمجها بشكل عام في الروتين اليومي، وتشمل الأنشطة المجدولة الشهرية والفصلية ونصف السنوية والسنوية. تكون متطلبات الصيانة خاصة بكل نوع من أجهزة رصد الهواء بسبب الاختلافات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي يقيسونها من أجل تحديد تركيزات الملوثات. لهذا السبب، يجب تحديد إجراءات الصيانة من قبل الشركة المصنعة للجهاز. من المهم دمج هذه الإجراءات في جداول مفصلة تخصص الوقت وفقًا لذلك (New Zealand Ministry of the Environment, 2009).

الصفر والمدى

يوصى بإجراء فحوصات الصفر والمدى عند تركيب الجهاز باستخدام هواء «درجة الصفر» المعتمد كمصدر صفري. ويوصى باستخدام مخططات التحكم في البناء من أجل اكتشاف وجود انحراف مفرط، ولا ينصح بإجراء تعديلات متكررة.

5. ضمان الجودة / مراقبة الجودة لقياس الجسيمات

يمكن تصميم برنامج ضمان / مراقبة الجودة المتعلق بقياس الجسيمات الدقيقة في ظل الظروف السائدة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. تتمثل الخطوة الأولى في اعتماد الإجراءات العامة لضمان الجودة / مراقبة الجودة للتأكد من تثبيت الجهاز وتشغيله للحصول على بيانات PM التمثيلية. إذا كان جمع الجسيمات يدويًا، فعادة ما يكون جهاز أخذ العينات موجودًا في الهواء الطلق، بينما يتم وضع العينات الأوتوماتيكية مثل أجهزة رصد الامتصاص وشاشات TEOM (وعينات BS) بشكل عام داخل ملاجئ خاصة (Shelters)، وتؤخذ عينات الهواء من الخارج من خلال أنبوب أخذ العينات. ويكون تكييف الهواء مطلوبا في الملاجئ. ويجب ألا يحدث تكثف المياه والترسب الملحوظ في خط العينة، لذلك تقوم دول مجلس التعاون لدول لخليج العربية بقياس الرطوبة العالية غالبًا، ويجب إجراء زيارات متكررة للموقع مع ضمان التدفق الواضح داخل خط العينة في جميع الأوقات. ونظرًا لأنه من المستحيل معايرة جهاز أخذ عينات الجسيمات عن طريق تمرير خليط جسيمات محيط معروف في المدخل ومقارنته بالقيمة المقاسة، تركز إجراءات ضمان / مراقبة الجودة على قياس معدل التدفق وإمكانية المقارنة بين الأجهزة وداخل الموقع. في الواقع، يعد التواجد الدوري لأخذ العينات طريقة مفيدة لتقييم أداء الجهاز. إذا كان من المقرر إجراء تحليل كيميائي للمرشحات (يتم جمعها بشكل شائع أثناء أخذ العينات يدويًا) لتحديد الأنواع وتقسيم المصادر، ويجب وضع إجراءات ضمان / مراقبة الجودة لوزن والتحليل في المختبر. ترتبط القرارات بشأن الأنواع الكيميائية بالأهداف العامة لبرنامج رصد جودة الهواء. قد تشمل الأهداف على سبيل المثال لا الحصر تقييم مساهمة الغبار الطبيعي في مستويات الجسيمات، والإبلاغ عن جودة الهواء المحيط، وتقييم التأثير الضار للجسيمات على الصحة والبيئة، وتقييم المنطقة الملوثة وتقدير التحسينات في جودة الهواء.

5.1.2. الحصول على البيانات

بعد معايرة الأجهزة وبدء عملية الرصد، فإن الخطوة التالية هي حماية سلامة البيانات التي تم جمعها. لهذا، من المهم اتباع إرشادات الممارسات الجيدة أثناء الحصول على البيانات. الحصول على البيانات هو عملية التقاط البيانات الناتجة عن أجهزة الرصد وتخزينها لفترة زمنية مناسبة ونقلها للتخزين النهائي في قاعدة بيانات محلية. إن تكنولوجيا الحصول على البيانات تتحسن وتتطور باستمرار. تحتوي معظم أنظمة رصد الهواء الحديثة على أنظمة الحصول على البيانات الخاصة بها والتي توفر البيانات بتنسيق رقمي لحظي من الجهاز إلى مسجلات البيانات الخارجية. من الممكن استخدام نظام الحصول على بيانات الجهاز لنقل بيانات الرصد وجمعها وتخزينها إلى جهاز كمبيوتر محمول، ويمكن لهذه الأنظمة زيادة التقاط البيانات وإعداد التقارير. ومع ذلك، إذا كانت هناك عدة أجهزة ومواقع رصد مختلفة، فقد تصبح إدارة البيانات مرهقة. لهذا السبب، يوصى بالممارسات التالية:

1. الإشارات الرقمية مفضلة وموصى بها على الإشارات التناظرية بواسطة الهيئات بما في ذلك USEPA لأن الفولتية التناظرية يمكن أن تختلف بمرور الوقت، وأنظمة الحصول على البيانات الرقمية تقلل الضوضاء، مما يحسن الحساسية نتيجة لذلك. تتفوق الأنظمة الرقمية للحصول على البيانات على الأنظمة التناظرية حيث يمكنها تتبع بيانات المعايرة، وبالتالي توجيه أداء معايرة الأجهزة وإعدادات معايرة التسجيل (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

2. استخدام مسجل البيانات الخارجية المصمم لغرض معين أو القائم على الكمبيوتر لجميع الأدوات وذلك للتأكد من أن جميع المعلمات لها نفس التاريخ والطوابع الزمنية للمقارنات والتحليلات المستقبلية. وتهيئة أجهزة الرصد المتواصل بطريقة يسجل بها نظام الحصول على البيانات الخاص بهم بالتوازي مع مسجلات البيانات الخارجية. قم بمزامنة الساعة الداخلية للأجهزة مع مسجلات البيانات الخارجية لتجنب عدم تطابق الوقت.

3. استخدام مسجلات البيانات الخارجية التي توفر وتخزن متوسطات ١٠ دقائق محسوبة من القياسات اللحظية عالية الدقة. يمكن استخدام مجموعتين من البيانات للتأكد من تطابق خوارزميات متوسط وبرمجة مسجل البيانات الخارجية مع مخرجات الجهاز.

4. يقوم العديد من مسجلي البيانات بأخذ عينات من مخرجات الجهاز على فترات زمنية متكررة يحددها المشغل، ثم ضغط البيانات في فترات زمنية محددة بمتوسط الوقت. يجب التفكير بشكل كبير في اختيار هذه الفترات الزمنية. ويجب أن يتم اختيارها وفقًا لسعة تخزين مسجلي البيانات، والتمثيل الزمني لتركيز الملوثات ووقت استجابة الجهاز.

5. استخدام نظام القياس عن بعد أو غيرها من الوسائل لنقل البيانات مثل خطوط الهاتف والإنترنت والأقمار الصناعية لتنزيل مسجلي البيانات بشكل دوري إلى أرشيف مركزي. إن التنزيلات اليدوية مقبولة ولكنها تتطلب زيارات متكررة إلى موقع الرصد اعتمادًا على سعة تخزين مسجل البيانات، ولكن هذا يمكن أن يعرض لخطر أعطال فائتة في الأجهزة بين المواقع.

الحصول على البيانات

عند اختيار الفترات الزمنية لأخذ العينات لمسجلي البيانات، يجب مراعاة سعة تخزين مسجل البيانات ووقت استجابة الجهاز والتمثيل الزمني لتركيز الملوث. وعند مراقبة عدد كبير من المواقع، يوصى باستخدام مسجلات البيانات المصممة لغرض معين أو القائمة على الكمبيوتر لجميع الأجهزة، وتهيئة أجهزة الرصد المتواصل بطريقة يسجل بها نظام الحصول على البيانات الخاص بهم بالتوازي مع أجهزة تسجيل البيانات الخارجية. يُقترح أيضًا أن تتم مزامنة الساعة الداخلية للأجهزة مع مسجلي البيانات، وأن توفر مسجلات البيانات الخارجية متوسطات مدتها 10 دقائق محسوبة من القياسات اللحظية عالية الدقة ولديها ملفات بيانات خام عالية الدقة. يوصى بشدة أيضًا استخدام الأنظمة الرقمية لنقل البيانات.

5.1.3. تخزين العينة

بالتوازي مع أنظمة الحصول على البيانات، يجب إيلاء عناية خاصة لتخزين العينات التي يتم أخذها للتحليل. عندما يتم أخذ العينات وتشتمل أنظمة القياس على استخدام خط العينة، فهناك خطر محتمل لفقد العينة بسبب عوامل مختلفة بما في ذلك الامتزاز أو الترسيب أو الانتشار والتفاعل الكيميائي.

قد تؤدي هذه الخسائر إلى بعض الشكوك المنتظمة. لتجنب ذلك، يوصى بمراعاة طول وتكوين خط العينة. على سبيل المثال، بالنسبة للملوثات التفاعلية، يجب أن تكون مادة خط العينة خاملة، ويجب اختبار أنظمة أخذ العينات لضمان سلامة العينة، ويجب تحديد العينات أثناء أخذ العينات وإعداد العينة والتحليل.

لهذا السبب، من المهم إعطاء العينات رقم تعريف أو رقم مرجعي. يوصى بالاحتفاظ بسجل يوفر الرقم المرجعي لكل عينة بالإضافة إلى تفاصيل التاريخ والوقت والموقع الذي تم فيه الحصول على العينة والغرض من العينة وطريقة معالجتها. لاحظ أن إجراءات حماية سلامة العينة يعتمد على نوع العينة (UK Environment Agency, ٢٠١١). على سبيل المثال، بالنسبة للجسميات الدقيقة، يوصى بشدة بتخزين العينات التي تم جمعها على مرشح بشكل فردي في حاويات مغلقة. بالنسبة للعينات الأخرى، يكون التخزين أفضل في البيئات المظلمة والباردة وتحت ظروف لا توجد فيها مخاطر التلوث.

تخزين العينة

لتجنب فقد العينات في أنظمة أخذ العينات، يجب اختبار خطوط العينات لضمان سلامة العينة. يوصى بإعطاء العينات أرقام تعريف والاحتفاظ بسجل يوفر جميع التفاصيل بكل عينة. علاوة على ذلك، يجب تخزين العينات بعيدًا عن الملوثات وفي بيئة باردة ومظلمة.

5.1.4. تخزين البيانات

عند نقل البيانات للتخزين النهائي في قاعدة بيانات، من المهم ضمان تخزين البيانات بشكل سليم ومنهجي يحمي من فقدان ملفات البيانات ويسهل تحديد مكان وإعادة بناء تفاصيل الدراسات بعد فترة طويلة من إجرائها. لذلك من الضروري أن يكون هناك نظام قوي لتخزين البيانات والحفاظ عليها على المدى الطويل لضمان أن البيانات متاحة وكاملة ودقيقة طوال دورة حياة المشروع.

هناك مجموعة متنوعة من أنظمة قواعد البيانات الإلكترونية وحزم البرامج المتاحة لتخزين بيانات جودة الهواء بكفاءة، وتوفير معالجة البيانات، مثل التحليل البياني، وحساب المتوسطات الثابتة والمتحركة، ونسب التجاوز. يعد محتوى البيانات المقبول وسهولة الاستخدام اعتبارات مهمة لاختيار أنظمة تخزين البيانات الميدانية. لضمان تنظيم البيانات لسهولة الاسترجاع والاستخدام، وأن البيانات في مكان واحد وآمن، يوصى بالممارسات التالية:

- تخزين البيانات في قاعدة بيانات مركزية يتم نسخها احتياطيًا بشكل متكرر وتعيين معرّف فريد لكل موقع ومعلمة للمراقبة يتيح سهولة الاسترداد.
- تخزين البيانات بطريقة يتم فيها إلحاق البيانات الواردة بملف الأرشيف بحيث يمكن عرضها كمجموعة بيانات مستمرة.
- الاحتفاظ بمجموعتي بيانات متوازيتين:
    - مجموعة بيانات تحفظ البيانات الأولية في شكلها الأصلي
    - مجموعة بيانات تم ضمان جودتها وهي متاحة لمزيد من التحليل

يضمن ذلك إمكانية مراجعة البيانات وإعادة تحليلها في حالة ظهور مشاكل مع عملية ضمان الجودة الأصلية.

تخزين البيانات

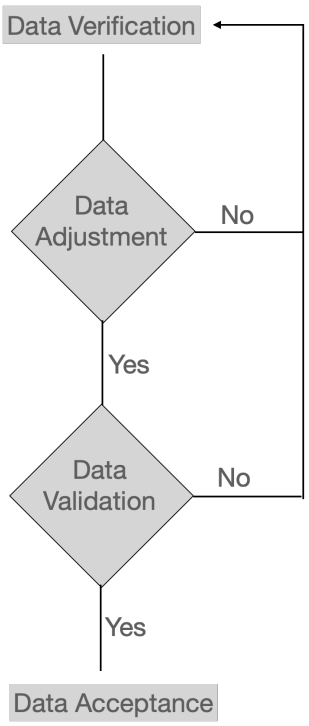
يوصى بتخزين البيانات في قاعدة بيانات مركزية يتم نسخها احتياطيًا بشكل متكرر وأن يتم تخصيص معرفات لكل معلمة. ويجب إلحاق البيانات الواردة بملف أرشيف. يُقترح أيضًا الاحتفاظ بمجموعة بيانات واحدة تحافظ على البيانات الخام وأخرى تحتوي على بيانات مضمونة الجودة.

5.1.5. قبول البيانات

من الضروري التأكد من أن البيانات مقبولة قبل تفسيرها. يتكون قبول البيانات من:

1. **التحقق من البيانات والأجهزة**: يتم إجراء عمليات التحقق من البيانات لتقييم جودة العينة ومصداقية القياسات
2. **تعديل البيانات والأجهزة**: لتصحيح عيوب البيانات التي ستؤثر على جودة البيانات
3. **التحقق من صحة البيانات**: عملية موثقة تضمن أن الأجهزة توفر نتائج موثوقة ضمن معايير القبول. إذا كانت البيانات خارج المواصفات، فيجب إجراء تحسينات على النظام، كما يجب حذف البيانات غير الصالحة من مجموعة البيانات النهائية

عملية قبول البيانات التي تشرع في تحليل البيانات موضحة في **الشكل 3**. يتم عرض تفاصيل حول التحقق من البيانات والأجهزة، وتعديلات البيانات والأجهزة، والتحقق من صحة البيانات في الأقسام اللاحقة.



الشكل 3: عملية قبول البيانات

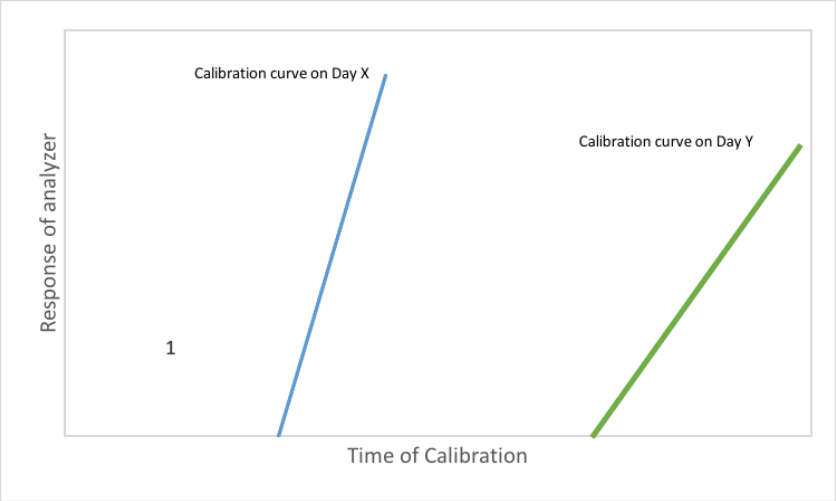
5.1.5.1. التحقق من البيانات والأجهزة

لتقليل فقد البيانات، يجب إجراء عمليات فحص البيانات على فترات منتظمة من أجل تحديد الأخطاء ومعالجتها مثل فشل النظام والخطأ البشري وانقطاع التيار الكهربائي والتدخلات وأعطال الأجهزة وتدفقات البيانات. يضمن القياس عن بعد أن يتم فحص البيانات مرة واحدة على الأقل يوميًا، لذلك يوصى بتسجيل عمليات التحقق من البيانات من المواقع التي يتم قياسها عن بُعد. يجب مراجعة أنظمة القياس عن بعد بشكل دوري لضمان سلامة وظيفة الفحص. يجب تسجيل ملاحظات عن الأحداث التي يمكن أن تؤثر على النتائج. نظرًا لوجود كمية كبيرة من البيانات التي يجب التحقق منها، يُفضل إجراء الفحوصات الآلية حيثما أمكن ذلك. يُعد الجمع بين الشيكات اليدوية والآلية الطريقة الأكثر فاعلية في فحص كميات كبيرة من بيانات الإدخال (Emmanuel et al., 2018).

علاوة على ذلك، يجب فحص الأدوات ومعايرتها وصيانتها بشكل متكرر. يعتمد تكرار هذه الفحوصات على الأداة المستخدمة. من المهم الاحتفاظ بالسجلات وملاحظات الفني التي تصف التعديلات التي تم إجراؤها وتحديد وقت التعديل عند إجراء عمليات فحص ومعايرة للأجهزة. ستكون هذه مفيدة عند التحقق من صحة البيانات المشبوهة وإزالتها.

5.1.5.2. تعديلات البيانات والأجهزة

كما هو مذكور في **القسم 5.1.1**، يميل منحنى استجابة الأداة إلى الانحراف بشكل غير متوقع مع مرور الوقت. يمكن أن تتسبب العوامل المختلفة في تحيز البيانات ويمكن أن تظهر تدريجيًا بمرور الوقت. يتم إعطاء مثال في **الشكل 4**، والذي يوضح تغييرًا في مدى استجابة الأداة، مما يوضح الحاجة إلى عمليات التحقق من البيانات والأدوات اليومية.



الشكل 4: يمكن أن ينحرف النطاق في منحنى استجابة الجهاز بمرور الوقت

قد تظهر عمليات التفقد التغييرات التي تتطلب زيارات فعلية للموقع لتحديد السبب. تشمل الحلول حذف جميع البيانات بعد آخر فحص جيد للصفر / المدى أو تعديل القراءات اللاحقة لتتناسب مع الدفعة السابقة.

5.1.5.3. التحقق من صحة البيانات

يعد منع العوامل التي تؤثر على دقة وصحة وصلاحية القياسات وتحديدها وتصحيحها وتعريفها خطوة حيوية قبل تحليل البيانات. إن التحقق من صحة البيانات هو عملية مصممة لاكتشاف قيم البيانات التي لا تمثل ظروف جودة الهواء الفعلية في موقع المراقبة والتحقق منها. ويجب أن يتم التحقق من صحة البيانات بمجرد جمع البيانات لتقليل الجهد وتقليل فقدان البيانات، ويجب أن تكون الخطوة الأخيرة قبل تفسير البيانات. لذلك ينبغي إجراء التحقق من صحة البيانات بحذر شديد.

يمكن إجراء التحقق من صحة البيانات يدويًا أو آليا

بالأساليب اليدوية، يعتمد التحقق من صحة البيانات على نتائج فحوصات البيانات التي تراقب المعلمات في أخذ العينات والتحليل وتخزين البيانات..

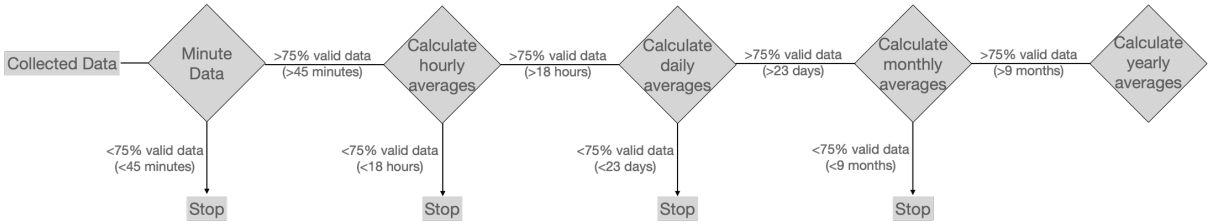
بالأساليب الآلية، إذا تجاوزت عمليات التحقق من الصفر والمدى القبول، فيجب إبطال القياسات مرة أخرى إلى النقطة الأحدث التي كانت فيها هذه القياسات صالحة، وبشكل عام الفحص السابق. في بعض الأحيان، يمكن أن ترتبط نقاط زمنية أخرى مثل أعطال الجهاز أو انقطاع التيار بسبب الانجراف أو التجاوز. ويجب إبطال أي بيانات بعد حدوث عطل في الجهاز، أو فترة عدم التشغيل، حتى الفحص أو المعايرة المقبولين التاليين. ويجب أيضًا إجراء الطرق الآلية وفقًا لمعايير الفرز المحددة (Hafner, ٢٠١٦). تتكون معايير الفرز مما يلي:

- نطاق تركيز الملوثات
- الاتساق اليومي
- معدل التغير أو الارتفاع المفاجئ

يسير النهج العام (Hafner, ٢٠١٦) للتحقق من صحة البيانات كما يلي:

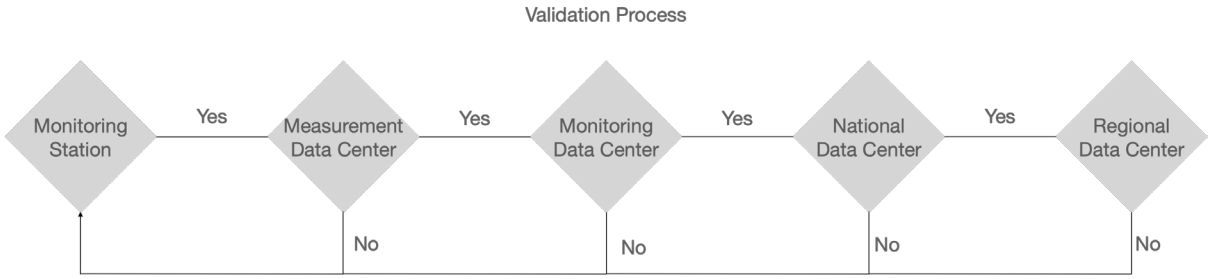
1. معالجة البيانات وفرزها أو رسمها بيانيًا (على سبيل المثال، مخططات مبعثرة، إحصاءات موجزة، مخطط شعيرات مربعة).
2. إزالة البيانات المقابلة للمعايرة، والقيم المتطرفة والإزاحة الإلكترونية.
3. إعداد معايير الفرز للمساعدة في تركيز جهود التحقق.
4. التحقق من استيفاء المعايير
5. استخدام الرايات لتحديد المشاكل مع العينة. يمكن أن تشير الرايات إلى أن البيانات قد تكون مشوهة بسبب التلوث أو الأحداث الخاصة (على سبيل المثال، مثل الألعاب النارية وعواصف الصحراء). ويمكن استخدام العلامات لتحديد ما إذا كان يجب إبطال البيانات
6. توثيق التغييرات.

لاحظ أن العينة تعتبر صالحة حتى تثبت عدم صلاحيتها. عندما يتم العثور على قياس غير متوافق مع التوقعات، يفترض أولاً أنه بسبب خطأ في القياس. وإذا لم يتم العثور على شيء غير عادي بعد تتبع مسار القياس، فيمكن افتراض أن العينة صالحة. لاحظ أيضًا أنه يجب اعتبار **75 في المائة من البيانات الصالحة صالحة، قبل أن يتم حساب المتوسطات**، وأن أي حسابات وتقييمات للبيانات تستخدم بيانات غير صالحة يجب إعادة بنائها مع تبرير كل إبطال بيانات موثق. على سبيل المثال، إذا تم جمع بيانات الرصد المتواصل كمتوسط 15 دقيقة، هناك حاجة إلى 3 من هذه المتوسطات على الأقل لتحديد متوسط الساعة. إذا كان هناك أقل من 75 في المائة من البيانات صحيحة، فيجب حساب المتوسطات **(الشكل 5)**.



الشكل 5: رسم تخطيطي يصف التحقق من صحة البيانات مما يؤدي إلى متوسطات محسوبة

يجب أن يتم التحقق من صحة البيانات في مختلف خطوات الرصد وإنتاج البيانات، ويجب أن تمتثل لأهداف جودة البيانات المنصوص عليها على المستوى الوطني و/أو الإقليمي. إحدى الآليات المقترحة هي حلقة التغذية الراجعة التي تتضمن التحقق من صحة البيانات في محطة الرصد، ومركز بيانات القياسات (مختبر للقياس اليدوي ومحطات الرصد للقياسات التلقائية)، ومركز بيانات الرصد، ومركز البيانات الوطني، إذا لزم الأمر، والبيانات الإقليمية المتاحة في المركز كما هو موضح في **الشكل 6**.



الشكل 6: رسم تخطيطي يصف عملية التحقق من صحة البيانات في مراكز البيانات المختلفة

التحقق من صحة البيانات

يُنصح بتطبيق العلامات على البيانات المشبوهة حتى يتم تحديد صحتها. يتم إبطال البيانات بعد فترة من انقطاع تشغيل الجهاز أو عطل في الجهاز. إذا تجاوزت اختبارات الصفر والمدى حدود القبول، يتم إبطال القياسات إلى أحدث نقطة كانت فيها هذه القياسات صالحة. من أجل حساب المتوسطات غير المتحيزة، يجب الحصول على 75 في المائة على الأقل من البيانات الصحيحة. تتكرر عملية التحقق في المراحل المختلفة التي تشمل محطة الرصد ومراكز بيانات القياس والرصد الوطنية والإقليمية (إذا لزم الأمر والمحددة من قبل أهداف جودة البيانات).

5.2. نموذج التوثيق

الجوانب المختلفة للوثائق التي يجب أخذها في الاعتبار لموقع رصد جودة الهواء التشغيلي هي:

1. عمليات التفتيش الروتينية للموقع، ومعايرة الأجهزة، والصيانة الروتينية
2. سجلات مفصلة لمعايرة الأجهزة وصيانتها
3. توثيق أنواع الأجهزة وتاريخ التركيب والأرقام التسلسلية لجميع الأجهزة
4. إجراءات تخزين البيانات، بما في ذلك إنشاء الملفات وأنظمة الأرشفة (راجع القسم ٥-١-٤.)
5. إجراءات معالجة البيانات وتعديلها لتصحيح المعايرة والفحوصات وخطوط الأساس أو الانحراف (أنظر القسم ٥-١-٥-٢.)
6. أي تعديلات للبيانات والسجلات المستبعدة أو الضائعة.
7. طرق الرصد المستخدمة
8. البيانات الوصفية لمواقع الرصد مثل وصف شامل لخصائص الموقع وأي مصادر محلية لتلوث الهواء

تساعد السجلات الصحيحة للبيانات الوصفية في ضمان التفسير المناسب للبيانات. يتم تلخيص البيانات الوصفية التي يجب توثيقها في **الجدول 20**:

الجدول 20: نموذج توثيق البيانات الوصفية

البيانات الوصفية لمواقع الرصد
أهداف الرصد
اسم الموقع ورقم التعريف
مكان الموقع: عنوان الشارع، المدينة، المنطقة، الإحداثيات الجغرافية
قائمة الملوثات التي يتم رصدها
النطاق المكاني للنطاق التمثيلي
فئة الموقع
تضاريس الموقع
ارتفاع الموقع فوق مستوى سطح البحر
مكان الجهاز وبيئة المكان
موقع ووصف مصادر الانبعاثات الرئيسية بما في ذلك معلومات عن نوع المصادر وموقعها والمسافة
صورة للموقع
تفاصيل الاتصال لصحاب المعدات ومالك الأرض والكهربائي وخدمة التكييف
البيانات الوصفية لموقع الأرصاد الجوية
متغيرات الأرصاد الجوية الجاري قياسها
مكان موقع الأرصاد الجوية، بما في ذلك ما إذا كان يوجد أي مرفق صناعي بالقرب من موقع الرصد
الخصائص الإقليمية والمحلية

الجدول 20: نموذج توثيق البيانات الوصفية *(continued)*

البيانات الوصفية للملوثات
الملوثات
طرق أخذ العينات والتحليل وجداول التشغيل لكل جهاز رصد
الأجهزة المستخدمة
فترة أخذ العينات وفترة التشغيل
ارتفاع مسبار أخذ العينات
تردد المعايرة
النسبة المئوية للبيانات الصالحة

التوثيق

يوصى بتوثيق البيانات الوصفية لموقع الرصد بالإضافة إلى عمليات التفتيش الروتينية للموقع، ومعايرة الأجهزة، ومعلومات الجهاز، ومعايير التحقق من جودة البيانات، وإجراءات تخزين البيانات، وتعديلات البيانات، والسجلات الضائعة، وطرق الرصد المستخدمة.

5.3. الإبلاغ عن نتائج الرصد

قد يتم إتاحة البيانات للجمهور في محطة الرصد في الوقت الفعلي بشرط أن يتم التحقق من صحة وسلامة هذه البيانات في محطة الرصد.

يتم الإبلاغ عن البيانات التي تم التحقق من صحتها في مركز بيانات القياس بتنسيق متوسط كل ساعة. على سبيل المثال، بيانات الدقيقة التي يتم جمعها بين 01:01 و 02:00 ويتم حساب متوسطها والإبلاغ عنها في 02:00 بالتوقيت القياسي المحلي. تتم الإشارة إلى البيانات غير الصالحة والضائعة بعلامة على النحو المحدد في إجراءات التشغيل القياسية للتشغيل وإعداد التقارير. يمكن الإبلاغ عن ملخصات البيانات الأخرى لفترات متوسط وأشكال إحصائية مختلفة، بما في ذلك بيانات ساعة واحدة و8 ساعات و 24 ساعة والحد الأقصى اليومي يعني تشغيل متوسطات 8 ساعات لكل ساعة من السنة، مع تسجيل النتيجة لساعة النهاية. وتكون القيم القصوى اليومية لثماني ساعات هي الحد الأقصى للقيم المتوسطة لثماني ساعات كل يوم من أيام السنة. وتعمل وسائل 24 ساعة على تشغيل متوسطات 24 ساعة لكل ساعة من العام، مع تسجيل النتيجة لساعة النهاية. تعتمد الوسائل اليومية على متوسط التركيزات بالساعة المسجلة من 01:00 إلى 00:00.

كذلك يتم في مركز بيانات القياس تضمين معرف موقع العينة، وتاريخ أخذ العينات، والوقت والحجم، ومعلومات عن وسائط أخذ العينات والأجهزة، وجميع المعلومات الميدانية ومختبر أخذ العينات وكودات التأهيل. وتتضمن تقارير المختبر معلومات حول تحضير العينة وطريقة التحليل والمعدات ورموز المؤهلات المرتبطة بالتحليل.

يتم في مركز بيانات الرصد إجراء المستوى الثاني من التحقق، ويتم في الغالب على أساس ربع سنوي.

تدعم البيانات في مركز البيانات الوطني والإقليمي سياسات إدارة جودة الهواء ويتم الإبلاغ عنها وفقًا لاتفاقيات جودة الهواء الوطنية والإقليمية. تُستخدم البيانات أيضًا لتتبع الاتجاهات في جودة الهواء المحيط في المجتمعات (الحضرية والريفية) في جميع أنحاء البلاد، ودعم البحث والتحليل الصحي والبيئي، وإجراء تقييمات بيئية، والتحقق من قوائم جرد الانبعاثات، وإجراء تحليل توزيع المصادر، والتحقق من ومعايرة نماذج جودة الهواء والاستشعار عن بُعْد والتنبؤ بجودة الهواء، وتطوير وتقييم تقنيات الرصد الجديدة.

يمكن إجراء تدقيق للأنظمة لمراجعة وثائق نظام الرصد بالكامل وإجراءات تحديد موقع المحطة، ومعايرة الأجهزة وصيانتها، وجمع البيانات والتحقق من صحتها. يركز تدقيق الأداء على تشغيل المحطة (على سبيل المثال أداء الجهاز، ومشعب المدخل، وتحديد المواقع، والصيانة، والسلامة). يمكن إجراء عمليات التدقيق هذه إما بشكل مستقل أو بشكل متزامن. ويجب أن تضمن الشبكة أن جميع وثائق الموقع متاحة بسهولة ويجب التأكد من أن جميع وثائق الموقع متاحة بسهولة وأمان.

أخيرًا، يساعد تقييم جودة البيانات الذي يتضمن التحليل الإحصائي لبيانات جودة الهواء في تحديد ما إذا كانت البيانات المُبلغ عنها تفي بأهداف شبكة رصد جودة الهواء. يمكن أن تساعد هذه التقييمات في تقييم الأداء العام للأنظمة ومراجعة المبادئ التوجيهية أو الأهداف حسب الضرورة.

5.3.1. الإحصاءات الموجزة

يمكن تجميع وبناء قدر كبير من البيانات بواسطة شبكة رصد جودة الهواء. قد تشمل التقييمات تقارير جودة بيانات الشبكة. ويجب تجميع هذه التقارير لجميع الطرق في كل موقع وللشبكة ككل. كما يجب أن تتضمن الملخصات التركيزات القصوى والدنيا بناءً على فترة المتوسط ذات الصلة والمتوسط الحسابي والوسيط وعدد التجاوزات والنسب المئوية ونسبة النتائج التي تنتمي إلى نطاقات معينة. مزيد من التفاصيل موضحة تاليا في **الجدول 21**.

الجدول 21: الإحصاءات الموجزة

(المصدر: https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/about-air-data-reports#con)

الملوثات	الإحصاءات الموجزة
أول أكسيد الكربون CO	**قيم ساعة واحدة:** متوسط تركيزات الساعة. • عدد القياسات (سيتم إنتاج 8760 قيمة سنويا مع رصد متواصل) • أعلى وثاني أعلى قيم ساعة واحدة في السنة • عدد التجاوزات **قيم 8 ساعات:** محسوبة كمتوسط متحرك لثماني قيم كل ساعة. • عدد القياسات • أعلى وثاني قيمة غير متداخلة (تختلف عن متوسط ساعة واحدة) قيم 8 ساعات في السنة • عدد التجاوزات
الرصاص Pb	**قيم 24 ساعة: متوسط التركيزات اليومية.** • عدد قياسات الرصاص يتوقف على قيم قياساته وعدد العينات المجمعة بعد ذلك. مطلوب قياس واحد على الأقل كل ستة أيام • الحد الأقصى لجميع متوسطات الثلاثة أشهر المتداولة في السنة • الحد الأقصى الأول، الحد الأقصى الثاني، الحد الأقصى الثالث، الحد الأقصى الرابع: أعلى أربع متوسطات على مدار ٢٤ ساعة في العالم) **المتوسط السنوي**: المتوسط الحسابي لقيم الساعة.

الجدول 21: الإحصاءات الموجزة

(المصدر: https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/about-air-data-reports#con)

(continued)

ثاني أكسيد النتروجين NO_2	**قيم ساعة واحدة**: متوسط تركيزات الساعة. • عدد القياسات (8760 قيمة في السنة سيتم إنتاجها مع الرصد المتواصل) • أعلى وثاني أعلى قيم ساعة واحدة كحد أقصى يوميا في السنة (خذ أعلى قيمة ساعة واحدة في كل يوم، والإبلاغ عن أعلى أربع من هذه القيم) • النسبة المئوية 98 من القيم اليومية القصوى لساعة واحدة في العام **المتوسط السنوي**: المتوسط الحسابي لقيم ساعة واحدة.
الاوزون O_3	**قيم ساعة واحدة**: متوسط التركيزات بالساعة • عدد القياسات • الحد الأقصى الأول، الحد الأقصى الثاني، الحد الأقصى الثالث، الحد الأقصى الرابع (خذ أعلى قيمة ساعة واحدة من كل يوم، وقم بالإبلاغ عن أعلى قيمة) • عدد التجاوزات • الأيام الصالحة (عدد الأيام التي تم الإبلاغ فيها عن العدد المطلوب من القيم) **قيم 8 ساعات**: محسوبة كمتوسط متحرك لثماني قيم كل ساعة. • عدد القياسات • الحد الأقصى الأول، الحد الأقصى الثاني، الحد الأقصى الثالث، الحد الأقصى الرابع (أخذ أعلى قيمة في 8 ساعات من كل يوم، والإبلاغ عن أعلى أربع ساعات) • عدد التجاوزات **قيم 24 ساعة**: يتم حسابها لكل يوم كمتوسط قيم ساعة واحدة
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	**قيم ساعة واحدة**: متوسط التركيزات بالساعة • عدد القياسات • الحد الأقصى الأول، الحد الأقصى الثاني (أخذ أعلى قيمة ساعة واحدة من كل يوم، والإبلاغ عن أعلى قيمة) • عدد التجاوزات • النسبة المئوية 99 **قيم 24 ساعة**: يتم حسابها لكل يوم كمتوسط قيم ساعة واحدة • عدد 24 ساعة • أعلى وثاني أعلى متوسط تركيزات على مدار 24 ساعة في السنة • عدد التجاوزات **المتوسط السنوي**: متوسط حسابي لقيم ساعة واحدة

الجدول 21: الإحصاءات الموجزة

(المصدر: https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/about-air-data-reports#con)

(continued)

$PM_{2.5}$	**قيم 24 ساعة:** المتوسط اليومي • عدد القياسات • الحد الأقصى الأول، الحد الأقصى الثاني، الحد الأقصى الثالث، الحد الأقصى الرابع • النسبة المئوية 98 **المتوسط السنوي**: محسوب من قيم 24 ساعة. التكوين: • بشري المنشأ: X.X ٪ • حيوي المنشأ (الغبار أساسا): X.X ٪
PM_{10}	**قيم 24 ساعة:** متوسط التركيزات اليومية • عدد القياسات • أعلى قيمتين 24 ساعة في السنة بالميكروجرام لكل متر مكعب. • عدد التجاوزات **المتوسط السنوي:** محسوب من قيم ٢٤ ساعة. التكوين: • بشري المنشأ: X.X ٪ • حيوي المنشأ (الغبار أساسا): X.X٪

06 6. تقييم وتحليل بيانات جودة الهواء

بمجرد جمع البيانات وإثبات جودتها، فإنها تصبح جاهزة للتفسير والتحليل من أجل تقييم جودة الهواء. يقدم هذا الفصل ثلاث طرق يمكن من خلالها تقييم جودة الهواء بناءً على نتائج الرصد:

1. مقارنة البيانات المُبلغ عنها لوضع المعايير،
2. عرض البيانات في مخططات التركيز لتحديد الاتجاهات
3. استخدام البيانات المبلغ عنها لحساب مؤشر جودة الهواء (AQI)

6.1. التقييمات وفقا لمعايير جودة الهواء

تتمثل إحدى الطرق المستخدمة لتقييم جودة الهواء في تحديد ما إذا كان الهواء في المنطقة التي يتم رصدها متوافقًا مع معايير جودة الهواء (مثل معايير جودة الهواء الوطنية). يتم جمع بيانات الرصد المتواصل بشكل عام كبيانات متوسط الساعة. ومع ذلك، لتقييم البيانات مقابل معايير بعض الملوثات، يجب تحويلها إلى فترات متوسط أخرى. تتطلب معايير جودة الهواء المحيط في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية متوسطات دائرية لمدة 8 ساعات لأكسيد الكربون والأوزون O_3، ومتوسطات كل ساعة لثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين. ومن أجل تحديد الاتجاهات طويلة المدى، يجب توفير 75 في المائة على الأقل من البيانات بحيث يتم الإبلاغ عن عدد التجاوزات السنوية والمتوسطات السنوية (UK Environment Agency, 2011). إذا كانت فترة الرصد أقصر من عام، يلزم الاستقراء لإنتاج العدد السنوي للتجاوزات، ولكن يجب مراعاة الطابع التمثيلي لفترة الرصد.

التقييمات وفقا للمعايير

عند تحديد متوسطات جودة الهواء للتقييم وفقا للمعايير، يوصى بأن تمثل البيانات المستخدمة 75 في المائة على الأقل من البيانات التي تم جمعها خلال عام واحد. ومن الممكن استخدام الاستقراء إذا كانت فترة الرصد أقصر من عام.

6.2. تقنيات تحليل جودة الهواء

للحصول على مزيد من المعلومات حول المصدر وتشتت جودة الهواء الرديئة من بيانات الرصد، يمكن تنفيذ تقنيات تحليل مختلفة. توجد ثلاث طرق تحليل رئيسية وهي التحليل الزمني، والمطابقة، والاتجاهي.

يوفر التحليل الزمني نظرة ثاقبة على دورات إنتاج وتشتت الملوثات. يأخذ في الاعتبار التمثيل الزمني لموقع الرصد لإظهار كيف يتغير تركيز الملوثات مع مرور الوقت. ويشمل التحليل الزمني تحليلات نهارية وأسبوعية وموسمية (UK Environment Agency, 2011). ولتحديد كيفية مقارنة جودة الهواء بالسنوات السابقة وكيف تتغير مستويات الملوثات بمرور الوقت، يُقترح إجراء تحليل انحدار على المتوسط السنوي، أو لعرض البيانات في مخططات التركيز على أنها اتجاهات جودة الهواء. تعتبر خطوط الاتجاه مفيدة بشكل خاص لتحديد كيفية تأثير تنفيذ السياسات الجديدة على تركيزات الملوثات. ويمكن أن تشير زيادة تركيزات الملوثات إلى الحاجة إلى مزيد من التحكم لتقليل تلوث الهواء. كما يمكن أن يشير تقليل التلوث من المواد الملوثة إلى أن اللوائح الحالية ناجحة في تقليل الانبعاثات.

تفحص تحليل المطابقة العلاقة بين تركيز الملوثات والمعلمات الأخرى المقاسة في نفس الوقت لتحديد مصادر التلوث المحتملة. على سبيل المثال، قد يكون من الممكن تحديد الارتباط بين ظروف الأرصاد الجوية وارتفاع تركيز مادة ملوثة معينة (UK Environment Agency, 2011). ويمكن القيام بذلك من خلال مقارنة فترات أعلى تركيزات لهذا الملوث مع الملوثات الأخرى وبيانات الأرصاد الجوية التي تم جمعها خلال فترة معينة.

يوفر التحليل الاتجاهي معلومات مفيدة عن مصدر وتشتت الملوثات بالنسبة لموقع الرصد. لإجراء تحليل اتجاهي، يجب تسجيل اتجاه الرياح في موقع الرصد. ويمكن تمثيل البيانات في المخططات والرسوم البيانية. على سبيل المثال، تمثل الرسوم البيانية التي تستخدم الإحداثيات القطبية متوسط تركيز المادة الملوثة في قطاعات الرياح المختلفة، وتوضح اتجاه الرياح الذي يساهم في مستويات التركيز العالية للمادة الملوثة في موقع الرصد. (UK Environment Agency, 2011). من الممكن أيضًا حساب مستوى الملوثات بنسب مئوية مختلفة لقطاعات الرياح المختلفة لفحص توزيع تركيزات الملوثات في موقع الرصد بصريًا.

تقنيات تحليل البيانات

للحصول على مزيد من المعلومات حول مصدر جودة الهواء الرديئة من بيانات الرصد، يمكنك تنفيذ التحليلات الزمنية والاتجاهية والمطابقة من خلال إنشاء مقارنة بين السنوية، وربط الملوثات ببعضها البعض وبيانات الأرصاد الجوية، وربط الملوثات باتجاه الرياح.

6.3. مؤشر جودة الهواء (AQI)

مؤشر جودة الهواء (Air Quality Index) هو مقياس يستخدم للإشارة إلى مدى تلوث الهواء في منطقة معينة ومدى خطورة ذلك على صحة مجموعات معينة من الناس. يتم حسابه بشكل عام على أساس قياس كل معيار من الملوثات (PM_{10} و$PM_{2.5}$، O_3، NO_2، SO_2، CO)، على الرغم من أنه يمكن حساب المؤشرات بناءً على عدد أقل من الملوثات. عادةً ما تستند القياسات إلى قراءات كل ساعة، مما يعني أن مؤشر جودة الهواء الذي تم الإبلاغ عنه في الساعة ١٠ صباحًا يشير إلى أن القياس قد تم من 9:00 إلى 10:00 صباحًا. يمكن استخدم رموز لونية للإشارة إلى مستوى جودة الهواء في المنطقة الخاضعة للرصد وأي مجموعات من الأشخاص قد تتأثر. إن هذا مهم في إعلام السكان بجودة الهواء في منطقتهم بطريقة سهل الوصول إليها ومفهومة، وتساعد في وضع سياسات للتخفيف من تلوث الهواء.

قد تقوم البلدان بتطوير مؤشرات جودة الهواء الخاصة بها وفقًا لمعايير جودة الهواء الوطنية الخاصة بها. على سبيل المثال، طورت وكالة حماية البيئة الأمريكية مؤشرات جودة الهواء مستخدمة على نطاق واسع بمقياس يبدأ من 0 إلى 500، حيث تمثل القيمة التي تزيد عن 300 أكبر مشكلة صحية (يمكن الاطلاع على مؤشرات جودة الهواء غير المؤكدة من جميع أنحاء العالم والمحسوبة باستخدام مقياس US EPA من خلال زيارة موقع www.waqi.info). لكل معيار من الملوثات، فإن قيمة المؤشر البالغ 100 يتوافق بشكل عام مع تركيز الهواء المحيط لمستوى معيار جودة الهواء المحيط الوطني قصير الأجل المحدد لحماية الصحة العامة. تظهر فئات المؤشر في الجدول 22 (AirNow, n.d.):

الجدول 22: فئات مؤشر جودة الهواء

اللون	فئة مؤشر جودة الهواء	قيمة مقياس مؤشر جودة الهواء	الوصف
أخضر	جيد	0-50	مُرْض، التلوث لا يشكل سوى مخاطر قليلة أو معدومة
أصفر	معتدل	51-100	مقبول، قد يكون خطرًا على بعض الأشخاص، وخاصة الأشخاص الذين لديهم حساسية غير عادية لتلوث الهواء
برتقالي	غير صحي للمجموعات الحساسة	101-150	من غير المحتمل أن يتأثر عامة الناس ولكن أعضاء المجموعات الحساسة قد يواجهون آثارًا صحية
أحمر	غير صحي	151-200	يمكن أن يواجه أعضاء المجموعات الحساسة آثارًا صحية أكثر خطورة، ويمكن أن يعاني أفراد عامة السكان من آثار صحية
بنفسجي	غير صحي جدا	201-300	تنبيه صحي: كل شخص لديه خطر متزايد من الآثار الصحية
المارون	خطير	301 وأكثر	تحذير صحي من حالات الطوارئ: من المرجح أن يتأثر الجميع

يتم حساب AQI باستخدام المعادلة التالية (AirNow، 2016):

$$AQI = \frac{AQI\ high - AQI\ low}{Conc\ high - Conc\ low} \times (Conc\ i - Conc\ low) + AQI\ low$$

حيث:
Conc i هو تركيز الإدخال لملوث معين
Conc المنخفض هو نقطة توقف التركيز التي تكون أقل من أو تساوي Conc i
Conc high هو نقطة توقف التركيز التي تكون أكبر من Conc i أو تساويها
انخفاض AQI هو قيمة / نقطة توقف AQI المقابلة لانخفاض Conc
ارتفاع AQI هو قيمة / نقطة توقف AQI المقابلة لارتفاع Conc

الملحق أ

وحدة الرصد وحسابات التحويل

وحدات الرصد

عندما يتم إجراء التقييمات فيما يتعلق بالامتثال للمبادئ التوجيهية والمعايير، فمن الضروري تحديد درجة الحرارة المناسبة. يتم تحديد إرشادات ومعايير جودة الهواء المحيط في نطاقات واسعة من درجات الحرارة. ومع ذلك، هناك بعض التفاوت وعدم الثبات في درجة الحرارة المستخدمة. على سبيل المثال، تستخدم وكالة حماية البيئة الأمريكية 25 درجة مئوية. وفي الاتحاد الأوروبي، فإن الشروط القياسية هي 293 كلفن (20 درجة مئوية) وضغط جوي 101.3 كيلو باسكال للملوثات الغازية. وبالنسبة للجسيمات ومكوناتها، يشير حجم أخذ العينات إلى الظروف المحيطة من حيث درجة الحرارة والضغط الجوي في تاريخ القياسات. ومن ثم، فمن المهم فهم اتفاقيات برامج الإبلاغ عن بيانات الأجهزة وتعديلها حسب الحاجة.

يمكن قياس تركيزات ملوثات الهواء إما بالحجم أو الكتلة، ولكن معظم المحللين يقيسون بالحجم. وتعتمد التركيزات بالكتلة، مثل mg/m^3 أو $\mu g/m^3$ على درجة الحرارة المحيطة والضغط في وقت أخذ العينة. وتشير إلى وزن غاز أو ملوث جسيم في متر مكعب من الهواء الجاف.

يوصى باستخدام قياسات الحجم، مثل الأجزاء في المليار (ppb) أو الأجزاء في المليون (ppm) لتسجيل وأرشفة بيانات ملوثات الهواء الغازية لأنها مستقلة عن درجة الحرارة والضغط.

لرصد بيانات جودة الهواء وتسجيلها، يتم عادة استخدام الوحدات التالية:

الغازات

تم تسجيلها وحفظها في صورة ppb أو ppm

التحويلات من mg/m^3 أو $\mu g/m^3$

- عند 25 درجة مئوية وفقا للمعايير الأمريكية
- عند 20 درجة مئوية وفقا لمعايير EU

الجسيمات الدقيقة

تم تسجيلها وحفظها بتنسيق $\mu g/m^3$

- عند 25 درجة مئوية وفقا للمعايير الأمريكية
- عند درجة الحرارة المحيطة في تاريخ القياس وفقًا لمعايير EU

وحدات المراقبة

يجب تسجيل الغازات وحفظها في صورة ppm أو ppb ولكن يمكن تحويلها إلى mg/m^3 أو $\mu g/m^3$ إذا لزم الأمر. ويجب تسجيل الجسيمات وأرشفتها على أنها $\mu g/m^3$.

حسابات التحويل

بالنسبة للملوثات الغازية، يعتمد التحويل بين وحدات ppb وµg/m³ (أو ppm mg/m³) على الوزن الجزيئي للغاز وضغطه ودرجة حرارته.

لاحظ أن ppb يمثل حجم الملوث في الطور الغازي لكل 10^9 أمتار مكعبة من الهواء المحيط، وأن µg/m³ يمثل كتلة الملوثات الغازية لكل متر مكعب واحد من الهواء المحيط.

من خلال عمليات الاستبدال وإعادة الترتيب، نصل على المعادلة العامة المستخدمة للتحويل من ppb إلى µg/m³ هي 1 atm و298 ألف (Boguski, 2006):

$$\mu g/m^3 = 0.0409 \times (ppb) \times M$$

حيث M هي الكتلة المولية للمادة المعنية. والمعادلة العامة المستخدمة للتحويل من µg/m³ إلى ppb إلى هي عند 1 atm و298 ألف هي:

$$ppb = \frac{(24.45 \times (\mu g/m^3)}{M}$$

تم الحصول على ثوابت التحويل 0.0409 و24.45 بعد استخدام قانون الغاز المثالي عند 1 atm و298 ألف. يوضح الجدول أدناه تحويل الملوثات المعيارية الغازية من من ppb إلى µg/m³. لاحظ أن نفس المعادلة تستخدم للتحويل من ppb إلى µg/m³ و ppmg µg/m³ إلى µg/m³.

الجدول 23: التحويل من ppb إلى µg/m³ عند 298 ألف (25 درجة مئوية)

(المصدر: https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat06/0502160851_Conversion_Factors_Between_ppb_and.pdf)

الملوث	الكتلة المولية (g/mol)	ppb	µg/m³
CO	28.01	1	1.15
NO_2	46.01	1	1.88
O_3	48.00	1	1.96
SO_2	64.1	1	2.62

الملحق ب

البيانات السلبية والمفقودة

يناقش هذا الملحق كيفية التعامل مع الأحداث الشائعة مثل البيانات السلبية أو المفقودة. كما يوفر نظرة ثاقبة على وحدات الرصد وعوامل التحويل التي يجب استخدامها في إدارة البيانات.

البيانات السلبية

يمكن أن تحتوي بيانات القياس في بعض الأحيان على قيم سالبة. نظرًا لعدم وجود تركيزات غازية سلبية، فقد يكون من المغري حذفها. ومع ذلك، سيؤدي حذف القيم السلبية من مجموعة بيانات إلى زيادة التركيز المحيط بشكل مصطنع. لذلك يوصى بالاحتفاظ بهذه البيانات السلبية في مجموعة حيث تكون البيانات ضمن النطاق المتوقع لعدم اليقين.

كمرجع، يوصى بالحدود التالية للإبلاغ عن القيم السلبية لملوثات المعايير الغازية (U.S. Environmental Protection Agency, 2016)

- SO_2: -4.0 ppb
- O_3: -4.0 ppb
- NO_2: -5.0 ppb
- CO: -0.4 ppm

وبالمثال، وفقًا للمعايير EU، يتم قبول جميع القيم التي تزيد عن أو تساوي القيمة السلبية لحد الاكتشاف لمزيد من العمليات الحسابية، بينما يجب تجاهل القيم الأقل من القيمة السلبية لحد الاكتشاف. على سبيل المثال، بالنسبة لحد الكشف البالغ -3 µg/m³، يجب قبول قيمة -2.8 µg/m³، ولكن يتم تجاهل قيمة -3.5 µg/m³ (European Commission, 2013).

بالنسبة للقيم المتكررة والتي تتجاوز الحدود السلبية المقبولة، لابد من التحقق من الأسباب مثل الانحراف الصفري والحاجة إلى ضبط الخط الأساسي لمتابعة المعايرة الأساسية ووثائقه. وتحديد ما إذا كان هناك ما يبرر الحاجة لزيارة الموقع للقيام الإجراءات الصحيحة.

البيانات السلبية

يوصى بالاحتفاظ بالقيم السلبية في مجموعة البيانات إذا كانت تقع ضمن حدود مقبولة يتم تحديدها وفقاً لمواصفات كل جهاز.

البيانات المفقودة

حتى في أكثر شبكات الرصد التي تدار بدقةً، ليس من السهل الوصول إلى صلاحية البيانات بنسبة ١٠٠ في المائة للرصد طويلة المدى. لا يمكن تجنب بعض فجوات البيانات، على سبيل المثال أثناء فترات المعايرة. لكن البيانات المفقودة ترجع في الغالب إلى أعطال غير متوقعة في المعدات أو انقطاع التيار الكهربائي أو انحرافات التحيز (Kang, ٢٠١٣).

عادةً ما يتم استبعاد وقت التوقف للمعايرة الروتينية والصيانة من حساب التقاط البيانات، لكن النسبة المئوية للبيانات الصالحة تتضمنه. غالبًا ما يتم التعامل مع تحولات المعايرة أو التحيز الطفيف أو الانجرافات، ولكن يلزم إيلاء اعتبار خاص لانقطاع التيار الكهربائي الكامل. يمكن تطبيق التدابير التالية إذا تم تحديد فجوات (البيانات المفقودة) بسبب ممارسات المعايرة غير الروتينية:

- تحديد السبب الجذري لفقدان البيانات وتوثيقها. على سبيل المثال، إذا كانت العلامة المعرفة من قبل المستخدم تشير إلى حدوث انقطاع في التيار الكهربائي، فيجب على المراجع أن ينظر إلى بيانات الدقائق المرتبطة لمعرفة وقت حدوث انقطاع التيار الكهربائي بدقة وعدد دقائق البيانات المفقودة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للمشغل أن يفحص ما إذا كانت الأجهزة الأخرى في الموقع قد تعرضت لفقد في الطاقة خلال نفس الساعة بخلاف انقطاع التيار الكهربائي الذي يؤثر على جميع المعدات في محطة المراقبة، وأسباب فقدان البيانات تشمل المعدات المعطلة، وتكرار أخذ العينات غير الكافي، ومشاكل الأجهزة، والخطأ البشري
- إعادة استطلاع البيانات أو أداة، إن أمكن، لمعرفة ما إذا كان يمكن استعادة البيانات المفقودة
- مراجعة جميع علامات الحالة التي يطبقها نظام إدارة البيانات (مسجل البيانات، وأخذ العينات، وما إلى ذلك)

لاحظ أن لا ينبغي استخدام التضمين لملء البيانات المفقودة؛ يجب ترك البيانات المفقودة كفجوة إذا تم استخدامها للإبلاغ عن جودة الهواء.

في حالة استخدام البيانات لتحليلات إحصائية محددة، قد تؤدي الثغرات إلى تحيز النتائج وتقليل القوة الإحصائية. لذلك طور الباحثون نماذج احتساب لتحل محل معلومات القيمة المفقودة. إن مراجعة مناهج التضمين المختلفة تقع خارج نطاق هذا الدليل (Alsaber, Pan, & Al-Hurban, 2021).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7908071/

البيانات المفقودة

للإبلاغ عن جودة الهواء، يوصي عمومًا بترك أي فجوات في مجموعة البيانات بدلاً من استخدام الاستيفاء او الاستقراء لاستبدال البيانات المفقودة.

المراجع

AirNow. (n.d.). *Air Quality Index* (AQI) Basics. Retrieved from AirNow: https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/

Al Jallad, F., Al Katheeri, E., & Al Omar, M. (2013). Levels of particulate matter in Western UAE desert and factors affecting their distribution. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, *174*.

Alsaber, A. R., Pan, J., & Al-Hurban, A. (2021). Handling Complex Missing Data Using Random Forest Approach for an Air Quality Monitoring Dataset: A Case Study of Kuwait Environmental Data (2012 to 2018). International journal of environmental research and public health, 18(3), 1333. https://doi.org/10.3390/ijerph18031333

Al-Taiar, A., & Thalib, L. (2014). Short-term effect of dust storms on the risk of mortality due to respiratory, cardiovascular and all-causes in Kuwait. Int. J. Biometeorol., 58 (2014), pp. 69-77

American Society for Quality. (2021). *Quality Assurance & Quality Control*. Retrieved from https://asq.org/quality-resources/quality-assurance-vs-control

Blanchard, G., & Romano, D. (1978). High Volume Sampling:Evaluation of an Inverted Sampler for Ambient TSP Measurements. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 28, 1142-1144.

Barwick, V. (2003). *Preparation of Calibration Curves*; A Guide to Best Practice. Department of Trade and Industry. LGC.

Boguski, T. K. (2006). *Understanding Units of Measurement*. Environmental Science and Technology Briefs for Citizens, Center for Hazardous Substance Research, Manhattan.

Bruckman, Leonard & Rubino, R.. (1976). High Volume Sampling: Errors Incurred during Passive Sample Exposure Periods. Air Pollution Control Association Journal. 26. 10.1080/00022470.1976.10470334.

Cassee, Flemming R et al. “Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission.” *Inhalation toxicology* vol. 25,14 (2013): 802-12. doi:10.3109/08958378.2013.850127

Chahal HS, and Romano DJ (1976). High-Volume Sampling: Effect of Windborne Particulate Matter Deposited During Idle Periods. J. *Air Pollut*. Control Assoc, 26(9):885–886

Chapman, L., & Bell, S. J. (2018). High-Resolution Monitoring of Weather Impacts on Infrastructure Networks Using the Internet of Things, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(6), 1147- 1154. Retrieved Nov 3, 2021, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/99/6/bams-d-17-0214.1.xml

Chester W. Spicer, Darrell W. Joseph & Will M. Ollison (2010) A ReExamination of Ambient Air Ozone Monitor Interferences, Journal of the Air & Waste Management Association, 60:11, 1353-1364, DOI: 10.3155/1047-3289.60.11.1353

Clements Andrea L et al. (2017). Low-Cost Air Quality Monitoring Tools: From Research to Practice (A Workshop Summary).

Department for Environment Food & Rural Affairs. (2019). *EU Standard Methods for monitoring and UK Approach*. Retrieved from Department for Environment Food & Rural Affairs: https://uk-air.defra.gov.uk/networks/monitoring-methods?view=eu-standards

Department for Food & Rural Affairs. (2019). *EU Standard Methods for monitoring and UK Approach*. Retrieved from UK AIR Air Information Resource.

Derbyshire, Edward. "Natural Minerogenic Dust and Human Health." *AMBIO: A Journal of the Human Environment 36(1)*, 73-77 (2007): 36-73.

Des Participants, L. (2001). "Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories." Order.

Directive 2008/50/EC. *Ambient air quality and cleaner air for Europe*. European Parliament, Council of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX-%3A32008L0050.

Emmanuel, S., Fontelle, J.-P., Gytarsky, M., Magezi-Akiiki, A. J., & Mangino, J. (2018). *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories 8 Quality Assurance And Quality Control*. IPCC-NGGIP/TSU.

Environment Agency. (2011). *Technical Guidance Note (Monitoring) M8*.

Environment Regulatory Department. (2018). *Air Quality Protection Technical Note*. Duqm.

EPA Victoria. (2002). *A GUIDE TO THE SAMPLING AND ANALYSIS OF AIR EMISSIONS AND AIR QUALITY*. 40 City Road, Southbank Victoria 3006 AUSTRALIA.

European Commission. (2012). Spatial representativeness of air quality data. Retrieved from European Commission: https://ec.europa.eu/environment/air/quality/spatial_representativeness.htm

European Commission. (2013). *Guidance on the Commission Implementing Decision laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air (Decision 2011/850/EU). DG ENV.*

European Committee For Standardization. (2014). *Ambient air -Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence*. CEN-CENELEC Management Centre, Brussels.

Gilliam, J. and E. Hall (2016). "Reference and Equivalent Methods Used to Measure National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) Criteria Air Pollutants-Volume IUS Environmental Protection Agency, Washington, DC." Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.

Greene, L. C. (2008). *Standard Operating Procedure for Particulate Matter (PM) Gravimetric Analysis*. Research Triangle Institute Intemational, Environmental and Industrial Sciences Division. North Carolina : Research Triangle Park.

Griffin, Dale W. "Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health." *Clinical microbiology reviews 20.3* (2007): 459-477.

Haerri, H.-P., Niederhauser, B., Walden, J., Macé, T., Sutour, C., & Couette, J. (2014). *Guide on permeation method for the dynamic generation of NO_2 and SO_2 standard gas mixtures at limit values.* European Meteorology Research Program.

Hafner, H. (2016). Introduction to Data Validation. In S. T. Inc. (Ed.), *National Ambient Air Monitoring Conference*. St. Louis, MO.

Hanley, T. (2016). Data and Metadata – Monitoring Regulations to National Databases National Ambient Air Monitoring Conference, U.S. Environmental Protection Agency.

Harrison, R. M. and R. Harrison (2001). "Air pollution: sources, concentrations and measurements." Pollution: causes, effects and control 3: 144-168.

Hernández-Escamilla, Joel A, Juan P Flores-Margez and Manoj K Shukla (Particulate Matter: Capture and Quantification in Natural and Anthropogenic Sources." *Journal of Environmental & Analytical Toxicology* (2015)." 5:281 doi:10.4172/2161-0525.1000281.

Human Rights Council. (2019). Issue of human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. *United Nations General Assembly, A/HRC/40/55, p. 20.*

Jahnke, J. A. (1994). *Operators guide to eliminating bias in CEM systems*. Source Technology Associates. NC (United States): Research Triangle Park.

JRC. (2017). *JRC- AQUILA Position Paper; Assessment on siting criteria, classification and representativeness of air quality monitoring stations*.

Kang, H. (2013). The prevention and handling of the missing data. *Korean journal of anesthesiology*.

Krug, J. D., Dart, A., Witherspoon, C. L., Gilberry, J., Malloy, Q., Kaushik, S., & Vanderpool, R. W. (2017). Revisiting the size selective performance of EPA's high-volume total suspended particulate matter (Hi-Vol TSP) sampler. *Aerosol science and technology : the journal of the American Association for Aerosol Research,* 51(7), 868–878. https://doi.org/10.1080/02786826.2017.1316358

Larssen, S., & Hagen, L. O. (1996). 2. *Requirements to AQ monitoring in Europe*. Retrieved from European Environment Agency: https://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-058-8/page004.html

Lee, James D et al. "Year-round measurements of nitrogen oxides and ozone in the tropical North Atlantic marine boundary layer." *Journal of Geophysical Research 114* (2009): n. pag.

Mallone, S., Stafoggia, M., Faustini, A. et al. (2011). Saharan dust and associations between particulate matter and daily mortality in Rome, Italy. Environ. Health Perspect., 119, pp. 1409-1414.

Munir, S., Mayfield, M., Coca, D. et al. Analysing the performance of low-cost air quality sensors their drivers, relative benefits and calibration in cities a case study in Sheffield. Environ Monit Assess 191, 94 (2019). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7231-8

Nash, D. G., & Leith, D. (2010). Use of passive diffusion tubes to monitor air pollutants. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 60,2 (2010):204-9. doi:10.3155/1047-3289.60.2.204.

National Environmental Technology Centre. (2004). *UK Air Pollution*. Retrieved from Defra and the Devolved Administrations: https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat05/0408161000_Defra_AQ_Brochure_2004_s.pdf

National Research Council. (2002). *7 Air-Quality Measurement Techniques and Applications*. The Airliner Cabin Environment and the Health of Passengers and Crew. Washington, DC: The National Academies Press.

Neophytou, A.M., Yiallouros, P., Coull B.A. et al. (2013). Particulate matter concentrations during desert dust outbreaks and daily mortality in Nicosia, Cyprus. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol., 23, pp. 275-280.

New Zealand Ministry for the Environment. 2009. Good Practice Guide for Air Quality Monitoring and Data Management 2009. Wellington: Ministry for the Environment.

Nordic Council of Ministers. "Cadmium Review." Vol. 1. 04. Ed. COWI A/S. 28 January 2003.

Park, M., Joo, H.S., Lee, K. et al. Differential toxicities of fine particulate matters from various sources. Sci Rep 8, 17007 (2018). https://doi.org/10.1038/s41598-018353980

Perez, L. Tobias, A., Querol, X. et al. (2008). Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. Epidemiology, 19, pp. 800-807.

Polymenakou et al. 2008. Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an intense African dust event in the eastern Mediterranean. *Environ Health Perspect*. 2008;116:292–6.

Quality, A. S. f. (2021). "Quality Assurance & Quality Control." from HYPERLINK "https://asq.org/quality-resources/quality-assurance-vs-control".

Querol, X, et al. "Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies." *Environment International* (2019).

Ray, A. E. and D. L. Vaughn "Standard Operating Procedure for the Continuous Measurement of Particulate Matter." Thermo Scientific TEOM.

Ricardo, J. G. (2020). *Assessing the spatial representativeness of air quality sampling points, Application of siting criteria and sampling point classification* – Task 3 interim report. Retrieved from https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/document/fairmode/WG1/20200714ENVJRC4thsubmissionDGEnvAQfwkSR5ED11492Task3Finalinterimreport.pdf

Riyadh Air Quality. (2021). *Air Quality Standards, legislation and policy*. Riyadh Air Quality.

Sal Emmanuel (IPCC-NGGIP/TSU), J.-P. F.-A. (n.d.).

Savsar, M. (2012). Quality Assurance and Management, BoD–Books on Demand.

Supreme Council for the Environment, Kingdom of Bahrain. (2021). *Responsibility, balance and sustainability. Let's protect Bahrain's environment*.

Swedish Institute for Standards. (2014). *Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{10} or $PM_{2.5}$ mass concentration of suspended particulate matter.*

Swedish Standard Institute. (2012). *Ambient air- Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence*. Stockholm.

Swinford, R. "The Assessment of Passive Loading Effects on TSP Measurements in Attainment Areas," JAPCA 30:1322 (1980).

The Association For Qualitative Research. (2021). *Validity*. Retrieved from The Association For Qualitative Research the hub of qualitative thinking : https://www.aqr.org.uk/glossary/validity

Tobias, A., Perez, L., Diaz, J. et al. (2011). Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: a case-crossover analysis in Madrid (Spain). Sci. Total Environ., 412–413, pp. 386-389.

U.S. Environmental Protection Agency. (2000a). *Guidance for Data Quality Assessment*. Washington, DC.

U.S. Environmental Protection Agency. (2000b). *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications*. Research Triangle Park, NC 27711.

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II. Ambient Air Quality Monitoring Program*.

U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Technical Note - Reporting Negative Values for Criteria Pollutant Gaseous Monitors to AQS*. OFFICE OF AIR QUALITY PLANNING AND STANDARDS. RESEARCH TRIANGLE PARK, NC 27711.

U.S. Environmental Protection Agency. (2017). Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division. NC: RTP.

U.S. Environmental Protection Agency. (2018). *Best Practices For Data Management Technical Guide*.

Villena G., et al. (2012) Interferences of commercial NO_2 instruments in the urban atmosphere and in a smog chamber.

Videtich, C. (n.d.). *Environmental Protection Agency 40 Cfr Part 58*.

Wales Government. (2018). *Monitoring Methodologies*. Retrieved February 2021, from https://airquality.gov.wales/about-air-quality/monitoring/monitoring-methodologies

Watanabe, Masanari, et al. “Correlation between Asian Dust Storms Worsening Asthma in Western Japan.” *Allergology International* 60.3 (2011): 267-275.

Williams, R., & Kilaru, V. (2014). *Air Sensor Guidebook*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Office of Research and Development.

World Health Organization. (1997). *GUIDANCE FOR SETTING AIR QUALITY STANDARDS*.

World Health Organization. (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide; Summary of Risk Assessments*.

World Health Organization Regional Office for Europe. (2000). *Air Quality Guidelines - Second Edition*. , Copenhagen, Denmark.

World Health Organization Regional Office for Europe. (2001). *Air Quality Guidelines - Second Edition*. Copenhagen, Denmark.