



SỔ TAY HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG

THIẾT BỊ CẢM BIẾN GIÁ THÀNH THẤP ĐỂ ĐO $PM_{2.5}$



MỤC LỤC

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	4
DANH MỤC HÌNH VẼ	5
DANH MỤC BẢNG BIỂU	5
1. GIỚI THIỆU	9
1.1. Giới thiệu về PM _{2.5}	10
1.2. Các phương pháp quan trắc PM _{2.5}	11
1.3. Giới thiệu về thiết bị cảm biến giá thành thấp để đo PM _{2.5}	12
1.3.1 Nguyên lý chung của LCS	13
1.3.2 Ưu điểm và hạn chế của LCS	13
1.3.3. Các ứng dụng của LCS	14
2. LỰA CHỌN THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO PM_{2.5} GIÁ THÀNH THẤP	20
2.1. Thông số chất lượng dữ liệu	21
2.2. Các tiêu chí lựa chọn khác cần xem xét	21
3. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN CHƯƠNG TRÌNH ĐO PM_{2.5}	23
3.1. Thiết kế chương trình quan trắc	24
3.1.1. Xác định mục tiêu quan trắc	24
3.1.2. Lựa chọn vị trí quan trắc	25
3.1.3. Chọn thời gian quan trắc	25
3.2. Thực hiện chương trình quan trắc	25
3.2.1. Đảm bảo chất lượng (Quality Assurance- QA)	26
3.2.2. Kiểm soát chất lượng (Quality Control- QC)	27
3.2.3. Phân tích và biểu diễn số liệu	28
4. ĐÁNH GIÁ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO PM_{2.5} GIÁ THÀNH THẤP	29
4.1. Đánh giá độ đầy đủ của bộ dữ liệu (data completeness)	30

4.2. Đánh giá độ chụm (precision)	30
4.3. Đánh giá độ chệch (bias)	30
4.4. Đánh giá mức độ tương quan tuyến tính (linearity)	31
4.5. Đánh giá sai số (error)	31
4.6. Đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm)	32
4.7. Đánh giá khoảng đo (measurement range)	33
4.8. Đánh giá độ trôi (drift)	34
5. CHIA SẺ THÔNG TIN TỪ THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO $PM_{2.5}$ GIÁ THÀNH THẤP	35
6. MỘT SỐ LƯU Ý VÀ KHUYẾN NGHỊ	39
6.1. Đối với các nhà sản xuất và vận hành hệ thống LCS	40
6.2. Đối với cá nhân sử dụng LCS	41
6.3. Đối với cơ quan quản lý	41
6.4 Đối với các bên có chuyên môn về môi trường sử dụng LCS	41
TÀI LIỆU THAM KHẢO	42
PHỤ LỤC A - VÍ DỤ ỨNG DỤNG LCS ĐO $PM_{2.5}$	46
PHỤ LỤC B - PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO $PM_{2.5}$ GIÁ THÀNH THẤP	51
PHỤ LỤC C - CÔNG THỨC TÍNH CÁC THÔNG SỐ: MỨC ĐỘ ĐẦY ĐỦ CỦA BỘ DỮ LIỆU, ĐỘ CHỤM, SAI SỐ	54
PHỤ LỤC D - VÍ DỤ VỀ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ LCS	55

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
AQI	Air Quality Index	Chỉ số chất lượng không khí
BAM	Beta Attenuation Monitor	Thiết bị đo bụi sử dụng phương pháp đo theo nguyên lý làm suy giảm tia Beta
CLKK		Chất lượng không khí
US EPA	United States Environmental Protection Agency	Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ
LCS	Low-cost sensor	Cảm biến giá thành thấp (trong Sổ tay này là Thiết bị cảm biến giá thành thấp để đo $PM_{2.5}$)
PM	Particulate matter	Các hạt vật chất (hay còn gọi là Bụi)
$PM_{2.5}$	Fine particulate matter (Particulate matter, which have equivalent diameter $\leq 2.5 \mu m$)	Bụi mịn, bụi có kích thước nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 micromet
PSL	Polystyrene Latex Spheres	Hạt Latex Polystyren hình cầu
QA	Quality assurance	Đảm bảo chất lượng
QC	Quality control	Kiểm soát chất lượng
RH	Relative Humidity	Độ ẩm tương đối
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance	Thiết bị đo bụi sử dụng phương pháp đo theo nguyên lý cân bằng dao động giảm dần
UPM	Urban Particulate Matter	Bụi đô thị
WHO	World Health Organization	Tổ chức Y tế Thế giới
WMO	World Meteorological Organization	Tổ chức Khí tượng Thế giới

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1:	Biểu diễn kích thước bụi theo sợi tóc và hạt cát mịn ở biển [3]	10
Hình 2:	Sự xâm nhập của bụi vào hệ hô hấp của con người [2]	11
Hình 3:	Các cấp độ xác thực dữ liệu LCS (WMO, 2020) [25]	26
Hình 4:	Ví dụ đánh giá mối tương quan giữa LCS và GRIMM	31
Hình 5:	Ví dụ về tín hiệu của cảm biến trong trường hợp độ ẩm cao (GP2Y (S2) versus BAM 1020) [35]	32
Hình 6:	Tương quan độ ẩm và kết quả đo $PM_{2.5}$ của cảm biến CairClip (Trung bình 5 phút). Tất cả kết quả đo $PM_{2.5}$ ở điều kiện độ ẩm >95% cần được loại bỏ	32
Hình 7:	Hệ số tương quan đối với 2 LCS ở các khoảng nồng độ (range) khác nhau. a) Trung bình 15 phút và b) trung bình 1 giờ, n là số lần dữ liệu đo [35]	33
Hình 8:	Mô tả thông tin hiển thị trên trang web của PurpleAir (a), IQAir AirVisual (b) và OpenAQ (c)	37
Hình 9:	Các thông tin kỹ thuật của LCS được PurpleAir đăng lên website	38
Hình 10:	Thông tin đánh giá LCS do Clarity đăng tải trên web và tài liệu	40

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1:	Nhu cầu về dữ liệu/ thông tin cho từng ứng dụng của LCS (Nguồn: WMO, 2020)	17
Bảng 2:	Ví dụ về yêu cầu mục tiêu chất lượng dữ liệu cảm biến tương ứng với phạm vi sử dụng dữ liệu đo từ cảm biến	24
Bảng 3:	Tóm tắt các thông số dùng để đánh giá hoạt động của LCS và giá trị mục tiêu đề xuất tham khảo từ khuyến nghị của US EPA	34

VỀ NHÓM BIÊN SOẠN

Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường (INEST): *phụ trách xây dựng khung tài liệu và các nội dung kỹ thuật của tài liệu*

TS. Nguyễn Thị Thu Hiền

PGS. TS. Nghiêm Trung Dũng

PGS. TS. Lý Bích Thủy

TS. Văn Diệu Anh

PGS. TS. Đỗ Khắc Uẩn

ThS. Võ Thị Lệ Hà

Đoàn Thị Hoa Huyền

Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn): *phối hợp xây dựng khung tài liệu, xây dựng các nội dung về khuyến nghị và lưu ý truyền thông*

Đỗ Vân Nguyệt, Nguyễn Quỳnh Giao, Nguyễn Thị Phương Nhung, Nguyễn Hà Đan Quế và các đồng nghiệp tại Live&Learn.

Với cố vấn chuyên môn từ các chuyên gia:

GS. TS. Nguyễn Thị Kim Oanh (Viện Công nghệ châu Á - AIT)

TS. Hoàng Dương Tùng (Mạng lưới Không khí Sạch Việt Nam)

PGS. TS. Tô Thị Hiền (ĐH Quốc gia TP. Hồ Chí Minh)

PGS.TS. Hồ Quốc Bằng (ĐH Quốc gia TP. Hồ Chí Minh)

PGS. TS. Nguyễn Thị Nhật Thanh (ĐH Quốc gia Hà Nội)

TS. Thái Khánh Phong (ĐH Queensland)

Và sự tham gia góp ý của Trung tâm Quan trắc Môi trường miền Bắc:

ThS. Nguyễn Nguyệt Ánh - Phó Giám đốc, Trung tâm Quan trắc Môi trường miền Bắc

ThS. Hồ Minh Tráng - Q. Trưởng phòng, Phòng Hệ thống tự động và Kiểm định thiết bị

ThS. Phạm Ngọc Hải - Phòng Hệ thống tự động và Kiểm định thiết bị

ThS. Lê Đức Mạnh - Phòng Hệ thống tự động và Kiểm định thiết bị

ThS. Vương Như Luận - Phòng Hệ thống tự động và Kiểm định thiết bị

Sổ tay này được xây dựng bởi Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường (INEST) thuộc Đại học Bách khoa Hà Nội phối hợp với Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) trong khuôn khổ dự án “Chung tay vì Không khí Sạch” do Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID) tài trợ.

Dự án “Chung tay vì Không khí sạch” thúc đẩy những hành động hợp tác từ các tổ chức địa phương (Chính phủ Việt Nam, khối tư nhân, các tổ chức xã hội và người dân) nhằm giải quyết những vấn đề về ô nhiễm không khí.

Trích dẫn:

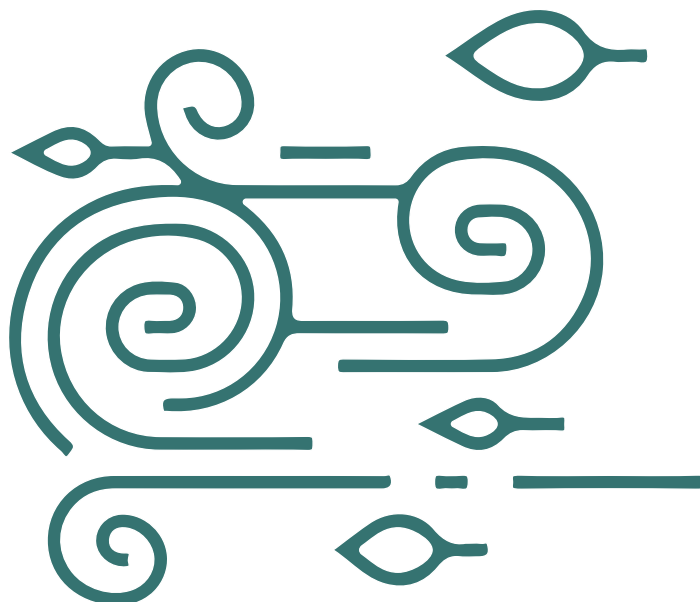
INEST, Live&Learn & USAID (2022). *Sổ tay hướng dẫn sử dụng cảm biến chi phí thấp để đo PM_{2.5}*. Tài liệu được phối hợp thực hiện bởi Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường (INEST) thuộc Đại học Bách khoa Hà Nội, Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) và Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID).

Tài liệu này được thực hiện với hỗ trợ từ Nhân dân Mỹ thông qua Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID). Nội dung của báo cáo thuộc trách nhiệm của các tác giả và không nhất thiết phản ánh quan điểm của USAID, Chính phủ Hoa Kỳ hay các tổ chức liên quan.

LỜI NÓI ĐẦU

Ô nhiễm không khí là một vấn đề môi trường nghiêm trọng trên phạm vi toàn cầu và ở Việt Nam. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), ô nhiễm không khí trong nhà và ngoài trời đã gây ra 7 triệu ca tử vong sớm trên phạm vi toàn thế giới [1]. Trong các chất ô nhiễm không khí, bụi mịn (bụi có kích thước nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 micromet - $PM_{2.5}$) là tác nhân được quan tâm hàng đầu hiện nay do tác động nghiêm trọng tới sức khỏe. Trong năm 2019, phơi nhiễm với bụi $PM_{2.5}$ gây ra 37.457 ca tử vong sớm tại Việt Nam, tương đương 39 ca/100.000 dân¹.

Để có thể kiểm soát ô nhiễm không khí nói chung và $PM_{2.5}$ nói riêng, cần có các số liệu đo. Các số liệu này thường là sản phẩm của hoạt động quan trắc với các thiết bị đắt tiền. Tuy nhiên, do chi phí cao nên hoạt động quan trắc bằng các thiết bị này khá hạn chế, cả về không gian và thời gian. Việc thiếu hụt số liệu quan trắc có thể được bù đắp phần nào bằng cách thực hiện quan trắc với các thiết bị sử dụng cảm biến giá thành thấp (trong tài liệu này được viết tắt là LCS (Low-cost air sensor)). LCS đang được phát triển, cải tiến và thương mại hóa một cách nhanh chóng trên thế giới và tại Việt Nam. Các LCS có thể được sử dụng cho các mục tiêu giáo dục, nâng cao nhận thức, STEM, nghiên cứu. Tuy nhiên, các LCS cũng còn có những hạn chế về chất lượng số liệu và cần được sử dụng một cách phù hợp tùy thuộc mục tiêu đo.



Sổ tay này cung cấp thông tin về sử dụng LCS đo $PM_{2.5}$ tự phát triển hoặc đã được thương mại hóa, có giá thành trong khoảng từ 1 triệu đến 60 triệu đồng². Đối tượng sử dụng sổ tay không chỉ gồm những người có chuyên môn, mà còn hướng tới những người làm khoa học cộng đồng³ (citizen science). Các nhà sản xuất và cung cấp cảm biến, các đơn vị nghiên cứu trong lĩnh vực chất lượng không khí, các cơ quan quản lý môi trường cũng có thể sử dụng sổ tay này để tham khảo.

Những thông tin được giới thiệu ở đây không phải là những yêu cầu bắt buộc mà đóng vai trò khuyến nghị để những người phát triển, sử dụng LCS và sử dụng thông tin từ LCS có thêm cơ sở để lựa chọn LCS cũng như sử dụng LCS phù hợp với mục tiêu dữ liệu cần thu thập.

1 Theo Báo cáo gánh nặng bệnh tật toàn cầu (GBOD), 2020.

2 Tham khảo theo giá của thị trường nước ngoài như Mỹ và Châu Âu.

3 Người làm khoa học công đồng: Thành viên cộng đồng tham gia các hoạt động nghiên cứu, thường là kết hợp hoặc dưới sự dẫn dắt của các nhà khoa học.

A large teal geometric shape, resembling a stylized arrow or a corner of a page, pointing towards the right. It has a white number '1.' inside it.

1. Giới thiệu

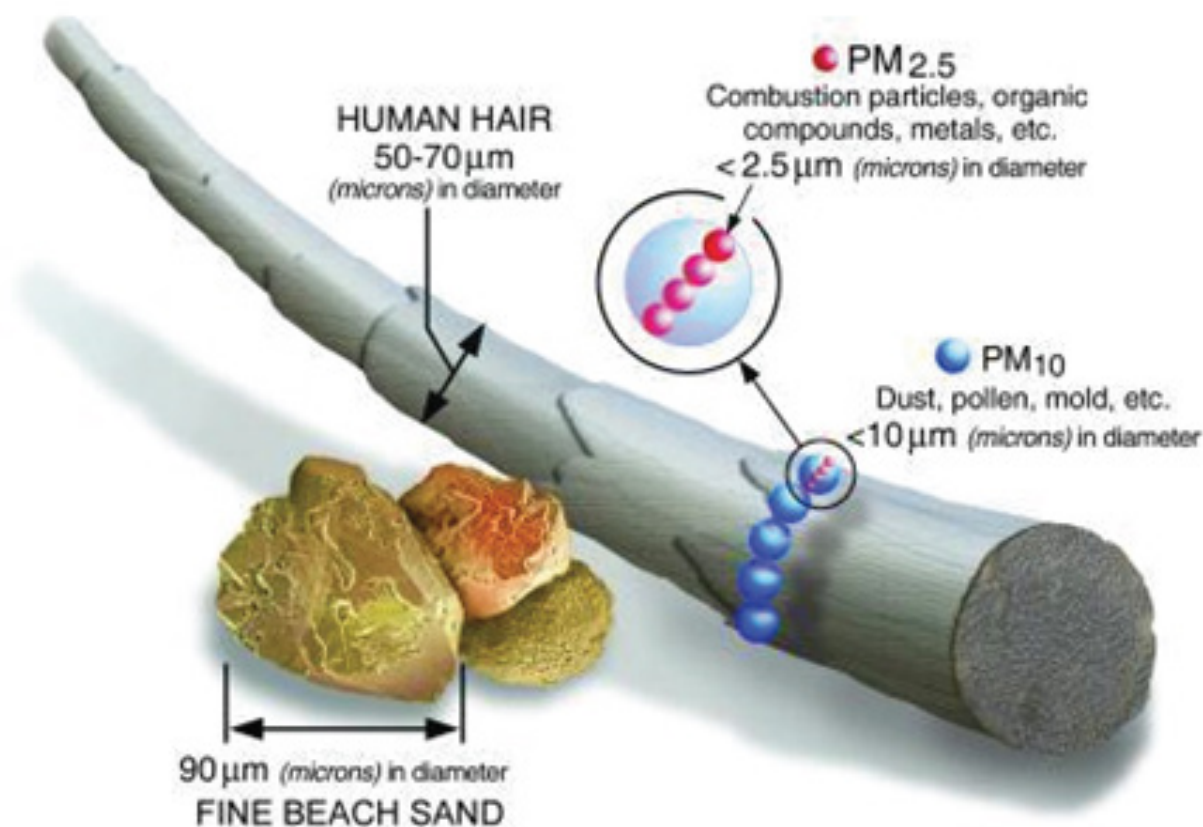
1.1 Giới thiệu về PM_{2.5}

Bụi PM_{2.5} (hay bụi mịn) là thuật ngữ để chỉ các hạt rắn, lỏng hoặc nửa rắn nửa lỏng lơ lửng trong không khí có kích thước nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 μm (micromet)⁴. Bụi PM_{2.5} được phát thải từ các nguồn tự nhiên và nguồn do con người. Thành phần chính trong bụi PM_{2.5} chủ yếu là hợp chất chứa carbon bao gồm carbon nguyên tố và carbon hữu cơ, các ion vô cơ hòa tan trong nước (ion ammonium, sulfate, nitrate...), các nguyên tố kim loại (kim loại nặng, các kim loại là thành phần từ vỏ trái đất...). Vì thế, bụi PM_{2.5} chứa nhiều thành phần

độc hại và không nên hiểu đơn giản là bụi đường hay bụi đất thông thường.

Ô nhiễm không khí do bụi PM_{2.5} có ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe cộng đồng. Trên thế giới, các bằng chứng khoa học về tác động sức khỏe do phơi nhiễm với bụi PM_{2.5} đã được công bố, cho thấy các tác động tức thời và dài hạn hay ngay cả ở nồng độ rất thấp.

Tại Việt Nam, theo kết quả phân tích của Gánh nặng bệnh tật toàn cầu (GBOD), phơi nhiễm với bụi PM_{2.5} gây ra 37.457 ca tử vong ở tất cả độ tuổi



Hình 1: Biểu diễn kích thước bụi theo sợi tóc và hạt cát mịn ở biển [3]

⁴ Theo các tài liệu chuyên môn như: Reist C.P. (1993) Aerosol Science and Technology, McGraw-Hill; Baron A.P and Willeke K. (2001) Aerosol Measurement Principles, Techniques, and Applications, Wiley-Interscience: Bụi PM_{2.5} được định nghĩa như sau: Bụi là một hệ phân tán trong đó môi trường phân tán là khí và pha phân tán là các hạt rắn hoặc lỏng hoặc nửa lỏng. Bụi PM_{2.5} là các hạt bụi có đường kính khí động học nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 micromet (định nghĩa về đường kính khí động học có thể được tham khảo thêm trong các tài liệu chuyên ngành)

và nguyên nhân với tỷ suất 38,87 trên 100.000 dân năm 2019 [2]. Tại Hà Nội, nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trung bình năm 2019 tại các quận/huyện từ 28,15 - 39,4 $\mu g/m^3$; gây ra 2.855 ca tử vong sớm, đóng góp 12% số ca tử vong sớm ở nhóm người trên 25 tuổi; kỳ vọng sống bị mất đi do phơi nhiễm với bụi $PM_{2.5}$ là 2,49 năm [5]. Tại TP. Hồ Chí Minh, nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trung bình năm 2017 là 23 $\mu g/m^3$, cao hơn 2,3 lần so với mức khuyến cáo của WHO⁵ và gây ra khoảng 1.136 ca tử vong [6].

Năm 2021, trước các nguy cơ và tác động sức khỏe do ô nhiễm bụi $PM_{2.5}$, WHO đã cập nhật Hướng dẫn toàn cầu về Chất lượng không khí xung quanh nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng trước các chất ô nhiễm, trong đó thắt chặt các ngưỡng khuyến nghị, cụ thể từ 10 $\mu g/m^3$ xuống 5 $\mu g/m^3$ đối với nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trung bình năm [41]. Hiện nay, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về Chất lượng không

khí xung quanh Việt Nam (QCVN 05:2013/BTNMT) quy định giới hạn của nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trung bình năm là 25 $\mu g/m^3$.

1.2 Các phương pháp quan trắc $PM_{2.5}$

Quan trắc bụi $PM_{2.5}$ trong chất lượng không khí (CLKK) xung quanh được thực hiện theo nhiều phương pháp và thiết bị, từ phương pháp thủ công tới sử dụng các thiết bị đo tự động liên tục ở mặt đất, cụ thể:

Quan trắc $PM_{2.5}$ theo phương pháp thủ công

Quan trắc $PM_{2.5}$ theo phương pháp thủ công hay phương pháp khối lượng gồm 4 bước: (i) lấy mẫu (ii) bảo quản mẫu, (iii) phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm và (iv) phân tích dữ liệu. Khi lấy mẫu, không khí được lấy sẽ được bơm hút qua bộ phận



Hình 2: Sự xâm nhập của bụi vào hệ hô hấp của con người [2]

5 Tác giả so sánh với mức khuyến nghị cũ của WHO năm 2005 (10 $\mu g/m^3$).

tách (loại bỏ phần bụi có kích thước lớn hơn 2,5 micromet sử dụng hai cơ chế chủ yếu là lực quán tính và lực ly tâm) trước khi đi qua giấy lọc rồi đi ra ngoài. Bụi $PM_{2.5}$ sẽ được giữ lại trên giấy lọc và được xác định khối lượng bụi bằng cách cân giấy lọc sau khi sấy khô trước và sau khi lấy mẫu. Phương pháp này cũng đòi hỏi phải ghi lại thể tích không khí được bơm qua giấy lọc, để từ đó có thể tính được nồng độ $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$).

Quan trắc $PM_{2.5}$ sử dụng thiết bị đo tự động liên tục

Quan trắc bụi sử dụng thiết bị đo tự động liên tục thường sử dụng các phương pháp chính sau:

- Phương pháp TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance): Trong thiết bị TEOM, các hạt bụi được thu thập liên tục trên một bộ lọc gắn trên đầu (tip) thủy tinh dao động trong một trường điện từ. Tần số dao động của đầu thủy tinh giảm khi bụi tích tụ trên bộ lọc. Sự biến động tần số này được sử dụng để xác định nồng độ bụi. Thời gian trả kết quả điển hình là 5 phút⁶. Nhiều thiết bị TEOM thuộc nhóm tương đương theo US EPA và đáp ứng Tiêu chuẩn Quốc gia Úc (Australian National Standard - AS 3580.9.8-2008) [7].
- Phương pháp suy giảm tia beta (BAM - Beta Attenuation Monitor): Các thiết bị BAM bao gồm một nguồn chiếu tia beta và đầu đo. Mẫu bụi thu được trên băng lọc sẽ đi qua giữa hệ thống chiếu và đầu đo tín hiệu tia beta. Qua đó, nồng độ bụi trong không khí được xác định. Thời gian để cho một kết quả đo là 1 giờ. Nhiều thiết bị BAM nằm trong nhóm phương pháp tương đương của US EPA và Tiêu chuẩn quốc gia Úc (Australian National Standard - AS 3580.9.12-2013) [7].
- Phương pháp tán xạ ánh sáng (Light Scattering) hay áp dụng nguyên lý tán xạ ánh sáng Rayleigh, Mie): Phương pháp tán xạ ánh sáng để đo nồng độ bụi dựa trên lý thuyết tán xạ Mie

của các hạt bụi [8]. Khi ánh sáng chiếu vào các hạt lơ lửng trong không khí, ánh sáng bị tán xạ. Bằng cách đo cường độ của ánh sáng tán xạ, có thể xác định được nồng độ bụi thông qua hệ số chuyển đổi. Ánh sáng đi qua hạt bụi trong những điều kiện nhất định dựa trên số lượng hạt và kích thước hạt xấp xỉ bằng bước sóng của ánh sáng. Đây là phương pháp có thời gian trả kết quả ngắn có thể tính theo phút và được áp dụng chủ yếu trong LCS.

Thiết bị quan trắc tiêu chuẩn (standard) theo US EPA⁷ được chia làm hai nhóm thiết bị tham chiếu (reference)⁸ và thiết bị tương đương (equivalent). Trong đó, tất cả các thiết bị tham chiếu đều theo phương pháp thủ công, và các thiết bị tương đương có thể dùng cả phương pháp thủ công và tự động liên tục.

1.3 Giới thiệu về thiết bị cảm biến giá thành thấp để đo $PM_{2.5}$

Cho tới những năm 2010, đã có rất nhiều loại LCS đo $PM_{2.5}$ khác nhau được sản xuất và phát triển trên thế giới, đặc biệt tại các nước phát triển như Mỹ và châu Âu. Các hoạt động liên quan cũng được tổ chức, như các hội thảo về LCS và chương trình đánh giá hoạt động của LCS, trong đó điển hình là Hướng dẫn sử dụng LCS biên soạn bởi US EPA [1], Chương trình đánh giá LCS của AQ-SPEC⁹ (Mỹ), nghiên cứu Tổng quan về LCS thực hiện bởi Trung tâm nghiên cứu của Ủy ban châu Âu¹⁰, Chương trình đánh giá vận hành LCS do AirParif thực hiện¹¹, Cập nhật về sử dụng LCS trong đo đặc thành phần môi trường của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) [25]. Tại Việt Nam, LCS, chủ yếu là loại đo $PM_{2.5}$, đã được sử dụng rộng rãi. Đặc biệt từ năm 2018 cho tới nay, LCS rất phổ biến với trường học và cộng đồng nhằm nâng cao nhận thức, khoa học công dân và bổ sung thông tin quan trắc (Xem thêm Phụ lục B).

6 Tham khảo từ <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/spec/drispec.pdf>

7 Danh mục thiết bị tiêu chuẩn của US EPA được biết đến và sử dụng rộng rãi trên thế giới. Danh mục thiết bị mới nhất (2021) có thể được tham khảo tại <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-12/designated-reference-and-equivalent-methods-12152021.pdf>

8 Lưu ý, từ phần này trở đi của tài liệu, thuật ngữ “thiết bị tham chiếu” được sử dụng để chỉ thiết bị quan trắc có độ tin cậy cao để đo nồng độ $PM_{2.5}$ “thực tế” (“actual” $PM_{2.5}$ concentrations) nói chung mà không chỉ định rõ ràng một phương pháp hay thiết bị cụ thể nào.

9 Tham khảo thêm trang <http://www.aqmd.gov/aq-spec/home>

10 Tham khảo thêm bài viết Review of sensors for air quality monitoring, Joint Research Centre, European Commission, 2019.

11 Xem thêm tại <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsEN/>

1.3.1 Nguyên lý chung của LCS

Về nguyên lý, LCS thuộc nhóm thiết bị đo tự động liên tục. LCS bao gồm hai nhóm bộ phận chính: (1) cảm biến – là phần đo và tạo ra tín hiệu tương ứng với nồng độ bụi, và (2) các bộ phận hỗ trợ như vỏ thiết bị, bộ chuyển tín hiệu thu được sang nồng độ, bộ phận biểu diễn hay truyền tín hiệu. So với các thiết bị đo tiêu chuẩn, LCS thường không có các bộ phận/sử dụng kỹ thuật để tách bụi, tách ẩm, cần có một bộ phận tạo dòng khí đối lưu để hút mẫu khí. Ngoài ra, phần cảm biến của LCS cũng được thu gọn hơn so với thiết bị tiêu chuẩn. Có nhiều công nghệ cảm biến được sử dụng để đo $PM_{2.5}$, trong đó công nghệ được phát triển rộng rãi nhất là phương pháp đo quang học (tán xạ ánh sáng), dựa trên độ lớn của tín hiệu đo để nhận dạng kích thước và nồng độ bụi.

1.3.2 Ưu điểm và hạn chế của LCS

Mỗi thiết bị đo đều có những ưu điểm và hạn chế nhất định. Trong so sánh tương đối với thiết bị đo tiêu chuẩn/phương pháp thủ công thì ưu điểm chính của LCS là chi phí đầu tư ban đầu thấp, kích thước nhỏ, nhẹ, tiêu thụ ít năng lượng, quy trình sử dụng đơn giản nên LCS có thể thu hút được sự tham gia rộng rãi của cộng đồng. Nhờ vậy, các LCS có thể được lắp đặt ở nhiều địa điểm hơn, cho dữ liệu đo theo thời gian thực, hiển thị trực quan trên nhiều nền tảng ứng dụng (trên app, web...) và có thể được công bố trực tuyến một cách dễ dàng. Nhiều LCS có khoảng thời gian đo (averaging time) hay thời gian trả kết quả ngắn, giúp người dùng biết được những thay đổi của CLKK trong ngày, thậm chí theo giờ (Xem thêm mục 2.1). Do đó, việc sử dụng các LCS giúp tăng cường dữ liệu giám sát bụi theo cả không gian và thời gian, đóng góp cho việc đánh giá ảnh hưởng sức khỏe và quản lý CLKK tổng thể. Bên cạnh đó, dữ liệu từ LCS có thể giúp phát hiện nhanh các điểm nóng có nồng độ chất ô nhiễm cao, có thể hành động kịp thời trong việc thanh tra, kiểm tra và quản lý CLKK.

Về hạn chế, các LCS trong quan trắc CLKK thường có độ chính xác và độ tin cậy không cao, giới hạn phát hiện kém hơn so với thiết bị quan trắc tiêu chuẩn. Sử dụng các LCS có thể thu được một lượng lớn dữ liệu trong thời gian ngắn, tuy nhiên dữ liệu

thu được đó có thể bị nghi ngờ do các hạn chế trên, bao gồm thông tin về quy trình hiệu chuẩn (xác thực dữ liệu) thông thường. Nếu sử dụng hoặc vận hành mạng lưới LCS theo những cách tương tự như thiết bị tiêu chuẩn hiện có, tức là được hiệu chuẩn thường xuyên, lưu trữ dữ liệu, quy trình Đảm bảo/Kiểm soát chất lượng (QA/ QC), v.v thì chi phí sẽ tăng cao. Ngoài ra, LCS thường có thời hạn sử dụng (vòng đời) ngắn (điển hình ở mức 1-3 năm).

Các yếu tố có thể ảnh hưởng tới độ chính xác của dữ liệu từ LCS bao gồm ảnh hưởng bởi các chất ô nhiễm hoặc các hợp chất hóa học, điều kiện thời tiết (ví dụ biến động về tốc độ gió, độ ẩm và nhiệt độ), tần số vô tuyến, bụi, rung động, côn trùng... Các yếu tố này có thể có ảnh hưởng đến tín hiệu cảm biến, do đó ảnh hưởng tới kết quả đo của LCS. Hầu hết các LCS được sử dụng hiện nay vẫn không thể đo được các hạt siêu mịn (có đường kính <100 nanomet). Bên cạnh đó, cảm biến bụi cho thấy hiệu suất không nhất quán ở độ ẩm tương đối (Relative Humidity - RH) cao trong không khí. Ngoài hạn chế của cảm biến, phần còn lại của thiết bị cũng chịu nhiều yếu tố ảnh hưởng dẫn tới các tác động đến hiệu suất của LCS, ví dụ: khả năng chịu lỗi (khả năng duy trì các chức năng của cảm biến mà không bị gián đoạn), hạn chế phần cứng, tuổi thọ pin và điều kiện khí tượng (ánh sáng mặt trời, nhiệt độ và độ ẩm), v.v. Việc hiệu chỉnh, bảo trì, bảo dưỡng LCS cũng là một thách thức trong việc sử dụng để đảm bảo thiết bị hoạt động tốt, ổn định và đo lường chính xác hơn. Nhìn chung, các ứng dụng của LCS đang bùng nổ nhưng LCS hiện chưa thể thay thế cho các thiết bị tiêu chuẩn, đặc biệt là cho các mục đích quản lý.

Những hạn chế nêu trên được các nhà sản xuất tìm cách khắc phục bằng các kỹ thuật khác nhau, trong đó phổ biến nhất là cách hiệu chỉnh tín hiệu đầu ra của cảm biến bằng các thuật toán phù hợp với cảm biến của nhà sản xuất đó. Tuy nhiên, việc hiệu chỉnh bằng thuật toán chưa đủ để đảm bảo chất lượng số liệu của LCS vì tín hiệu đầu ra của LCS đo $PM_{2.5}$ còn phụ thuộc vào thành phần $PM_{2.5}$ tại từng khu vực cụ thể. Do đó, việc đánh giá vận hành của LCS trong môi trường mà LCS sẽ hoạt động thực tế là cần thiết để có thể đảm bảo chất lượng dữ liệu phù hợp với mục tiêu đo đạc. (Xem Phần 4 và Phụ lục B).

1.3.3 Các ứng dụng của LCS

LCS đã được ứng dụng cho nhiều mục tiêu như tìm hiểu, giáo dục và nâng cao nhận thức, nghiên cứu, quan trắc phơi nhiễm cá nhân, nhận dạng và xác định đặc tính nguồn thải tới quan trắc bổ sung. Sự phát triển của các mạng lưới LCS đã giúp người dân có thể theo dõi CLKK theo thời gian thực hay có thêm dữ liệu để nghiên cứu về ô nhiễm không khí, hay ứng dụng trong xây dựng dự báo chất lượng không khí. Theo các tài liệu hướng dẫn của US EPA và WMO, LCS có thể ứng dụng cho nhiều mục tiêu. Sau đây là một số ứng dụng phổ biến của LCS và các ví dụ trên thế giới (các nước có thu nhập khác nhau) và Việt Nam.

Nghiên cứu về chất lượng không khí

LCS đang được ứng dụng trong thực hiện các nghiên cứu về chất lượng không khí tại Việt Nam và trên thế giới. Các nghiên cứu này đã và đang góp phần bổ sung các hiểu biết về ONKK nói chung, hay đánh giá về vận hành LCS, ứng dụng LCS:

- Tại Indonesia, LCS AS-LUNG Portable được dùng trong nghiên cứu về phơi nhiễm hàng ngày với $PM_{2.5}$ tại thành phố Bandung [10]; tại Mỹ, nhóm nghiên cứu thực hiện đánh giá trong phòng thí nghiệm và hiệu chuẩn ba LCS (của hãng Shinyei, Samyoung, và Sharp) để quan trắc bụi [11]; hay tại Brazil, hiệu chỉnh hai LCS MiCS, một cũ và một mới, để giám sát chất lượng không khí ở Quận Liên bang [12].
- Tại Việt Nam, Báo cáo Hiện trạng bụi $PM_{2.5}$ tại Việt Nam giai đoạn 2019-2020 đã kết hợp các nguồn dữ liệu từ trạm quan trắc tiêu chuẩn, dữ liệu vệ tinh và LCS để đưa ra bức tranh đầy đủ hơn về phân bố nồng độ bụi $PM_{2.5}$ cho 63 tỉnh/thành phố [16]; Nghiên cứu đặc trưng biến thiên nồng độ bụi $PM_{2.5}$ tại hai điểm đo ở Hà Nội và một điểm đo ở Thái Nguyên [13]; Nghiên cứu đánh giá hoạt động của các LCS đo $PM_{2.5}$ thực hiện tại Đại học Bách khoa Hà Nội [41].

Tìm hiểu, giáo dục, và nâng cao nhận thức về ONKK

Người dùng có thể sử dụng LCS để tìm hiểu CLKK, nâng cao nhận thức về ô nhiễm không khí hay trong giáo dục/giáo dục khoa học (STEM) để phát triển các sản phẩm theo dõi CLKK, thiết bị lọc khí¹². Các thông tin về CLKK được hiển thị trên thiết bị hoặc trên web/ứng dụng kết nối với thiết bị, gồm có nồng độ $PM_{2.5}$, chỉ số chất lượng không khí (Air Quality Index – AQI) (màu sắc và/hoặc giá trị), hoặc các dạng biểu hiện khác. Các thông số này giúp người dùng LCS biết: Ô nhiễm không khí trên đường đi làm hàng ngày của tôi cao hơn hay thấp hơn so với ở nhà? Có phải ô nhiễm không khí hôm nay nghiêm trọng hơn ngày hôm qua? Nơi nào tốt nhất để tôi chạy bộ hoặc đi xe đạp?

- Trong tìm hiểu, nâng cao nhận thức về CLKK: Tại Mỹ, Dự án Green Village (2013-2019) là một hoạt động cộng đồng giúp người dân theo dõi CLKK tại địa phương theo thời gian thực¹³. Tại Indonesia, có 120 LCS của Airly đã được phủ rộng ở thủ đô Jakarta và dữ liệu được theo dõi qua ứng dụng điện thoại BreatheJakarta, giúp hàng ngàn người theo dõi được CLKK theo thời gian thực¹⁴. Tại Việt Nam, có một số mạng lưới quan trắc CLKK sử dụng LCS cho mục tiêu nâng cao nhận thức cộng đồng và phổ biến thông tin như PAM Air hay FAirnet¹⁵.
- Trong giáo dục: Tại Malaysia, dự án Kappa đã triển khai một dự án sử dụng cảm biến CLKK, trong đó có các nhóm trẻ em trên khắp đất nước làm việc cùng nhau để tạo ra một cảm biến, ứng dụng thu thập dữ liệu và một ‘bản đồ nhiệt’ về CLKK xung quanh. Qua việc tham gia dự án, trẻ em có nhận thức tốt hơn về vai trò và khả năng của mình trong việc bảo vệ không khí trong lành¹⁶. Tại Việt Nam, học sinh tìm hiểu về cách chế tạo và sử dụng thiết bị đo CLKK AirSENSE trong chương trình STEM của phòng FabLab - trường THCS & THPT Tạ Quang Bửu, Hà Nội¹⁷.

12 Tham khảo thêm Cuộc thi Thiết kế kỹ thuật AirSENSE

13 Tham khảo thêm tại <https://archive.epa.gov/epa/air-research/village-green-project.html>

14 Tham khảo thêm tại <https://airly.org/en/case-studies/nafas-the-air-quality-app-built-for-jakarta/>

15 Tham khảo trang web pamair.org and airnet.vn

16 Tham khảo thêm tại <https://tinkergen.wordpress.com/2020/07/22/project-kappa/>

17 Tham khảo thêm Dự án “Đo chất lượng không khí tại Hà Nội”.

Nhận dạng và đánh giá các điểm nóng về ô nhiễm không khí

Để nhận dạng và đánh giá điểm nóng ONKK, có thể sử dụng các LCS cố định hoặc di động để đo nồng độ $PM_{2.5}$ gần nguồn phát thải. Ví dụ, đặt LCS ở vị trí cuối hướng gió của nguồn ô nhiễm như là nhà máy, cảng biển; Đặt LCS dọc theo đường cao tốc tại các đô thị; Đặt LCS trên nóc các phương tiện giao thông.

- Tại Phần Lan, một nghiên cứu sử dụng LCS để phát hiện điểm nóng ô nhiễm ở Helsinki [20], hay tại Trung Quốc, các tổ chức và chính quyền địa phương đã trang bị cho 50 xe taxi các LCS di động và 320 LCS đặt xung quanh thành phố Cangzhou để theo dõi và phát hiện các điểm nóng ô nhiễm theo thời gian thực [21].
- Tại Việt Nam, “Nghiên cứu đo đặc nồng độ CO và $PM_{2.5}$ tiếp xúc do ảnh hưởng của hoạt động đốt than tổ ong tại Hà Nội” quan trắc nồng độ CO và $PM_{2.5}$ tại vùng thở của nhóm tiếp xúc trực tiếp - những người sử dụng bếp than tổ ong, ngồi gần bếp, và nhóm tiếp xúc gián tiếp - những người không trực tiếp sử dụng bếp nhưng ngồi gần bếp (bán kính 5 mét) [19]. Hay LCS được ứng dụng trong “Nghiên cứu phát triển và sử dụng thiết bị đo LCS để quan trắc nồng độ bụi TSP tại nhiều tuyến đường ở Hà Nội” [27], trong đó sử dụng LCS khi di chuyển bằng xe máy để đo ô nhiễm trên một số tuyến đường.

Quan trắc bổ sung

Với mục tiêu này, LCS được đặt tại các khu vực chưa có các trạm quan trắc tiêu chuẩn để bổ sung dữ liệu. Các LCS này có thể đặt cố định hoặc di động, phụ thuộc vào mục tiêu đo. Tại châu Âu, để đáp ứng mục tiêu này, sai số cho phép của chất lượng dữ liệu từ LCS là khoảng 50% [25].

- Tại châu Âu, dự án BreatheLondon (Anh) đã lắp đặt hơn 100 LCS Clarity tại các trường học,

bệnh viện và các điểm đối chiếu (co-location) với mạng lưới quan trắc CLKK của thành phố, với sự tham gia và tài trợ của Thị trưởng thành phố, nhóm Chuyên gia CLKK từ Imperial College London, công ty Clarity Movement Co và quỹ Bloomberg Philanthropies. Mục tiêu là tăng cường thông tin về CLKK cho cộng đồng, người dân¹⁸. Tại Thụy Điển, các LCS của hãng Libelium Waspote Plug & Sense! được lắp vào các xe buýt công cộng để theo dõi và bổ sung dữ liệu về chất lượng không khí của thành phố [24].

- Tại Mỹ, US EPA đã tích hợp dữ liệu từ Purple Air vào bản đồ các đám cháy trên toàn quốc (Fire and Smoke Map) nhằm tăng cường cung cấp thông tin về CLKK để người dân chủ động bảo vệ sức khỏe khỏi ô nhiễm từ các đám cháy¹⁹.
- Tại Thái Lan, Cục Công trình Công nghiệp đã lắp đặt thiết bị cảm biến không khí nhỏ gọn, dễ vận hành, dễ bảo trì, cơ động, chi phí thấp và có thể lắp đặt vào xe 4 bánh để theo dõi chất lượng không khí quanh khu công nghiệp Map Ta Phut, tỉnh Rayong. Cảm biến cho phép các nhà quản lý theo dõi thời gian thực về các chỉ số SO_2 , CO, NO_2 , NOX, VOCs và PM_{10} , từ đó họ có thể dễ dàng đánh giá sự tuân thủ quy định của các khu công nghiệp hoặc sự hiệu quả của các chiến lược giảm thiểu ô nhiễm²⁰.

Quan trắc tiếp xúc cá nhân (Personal exposure monitoring)

Đo tiếp xúc cá nhân là hoạt động để đánh giá tác động của ô nhiễm không khí tới sức khỏe, cũng là ứng dụng phổ biến nhất của LCS.

- Tại Mỹ, LCS được các hộ gia đình ở bang Oregon lắp đặt và theo dõi về CLKK ban đêm khi họ sử dụng bếp củi để sưởi ấm trong nhà, cho thấy CLKK kém hơn so với khi không sử dụng bếp củi²¹.
- Tại Đài Loan, 26 người trưởng thành khỏe mạnh không hút thuốc đã được theo dõi mức độ phơi nhiễm PM cá nhân trong nhà và ngoài

¹⁸ Đọc thêm tại <https://www.breathelondon.org/>

¹⁹ Tham khảo trang web <https://fire.airnow.gov/#>

²⁰ Tham khảo: <https://aeroqual.imgix.net/assets/documents/DIW-case-study.pdf>

²¹ UC Davis Air Quality Research Center, 2021.

<https://asic.aqrc.ucdavis.edu/events/communication-understanding-challenges-and-opportunities-air-sensor-data> [truy cập 19/04/2022]

trời trong 7 ngày, trong đó sử dụng LCS không dây truyền tải dữ liệu theo thời gian cứ mỗi 15 giây, 1 phút và 5 phút. Kết quả cho thấy tác nhân PM lớn nhất trong sinh hoạt hàng ngày là đốt hương và nấu nướng [39]. Tại Ấn Độ, LCS còn được sử dụng trong một thực nghiệm đo mức độ phơi nhiễm với ô nhiễm không khí của hai đứa trẻ trong một ngày, một đứa trẻ có máy lọc không khí tại nhà và đứa trẻ còn lại sống trong khu ổ chuột ở New Delhi - thủ đô ô nhiễm nhất thế giới. Từ đó, nghiên cứu cho thấy được bất bình đẳng chất lượng không khí tiếp cận của gia đình giàu/nghèo²².

- Tại Việt Nam, LCS được sử dụng trong nghiên cứu quan trắc tiếp xúc của người tham gia giao thông tại các tuyến đường điển hình ở Hà Nội, trong đó thiết bị LCS được đặt tại vùng thở của người đi xe máy và xe đạp [40]. Tại TP. Hồ Chí Minh, học sinh tham gia nghiên cứu và đeo LCS để quan trắc phơi nhiễm với ONKK từ các nguồn giao thông, từ đó đánh giá các tác động sức khỏe của bệnh hô hấp lên trẻ em²³.

Quan trắc đánh giá tuân thủ (Regulatory Monitoring)

Ứng dụng này bao gồm quan trắc các chất ô nhiễm để xác định xem một khu vực có tuân thủ với Các tiêu chuẩn/quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh hay không. Theo US EPA, các thiết bị hoặc công nghệ cho mục tiêu quan trắc tuân thủ cần đạt được các tiêu chuẩn, và yêu cầu về độ chính xác của phép đo từ thiết bị không quá 15%²⁴. Hiện nay, không có LCS nào đủ điều kiện để sử dụng cho mục tiêu này.

Tài liệu hướng dẫn về LCS của WMO [25] đã đưa ra đánh giá về ứng dụng của LCS, nhu cầu về dữ liệu và khả năng đáp ứng của LCS cho các mục tiêu đo đạc khác nhau (Bảng 1). Trong đó, ứng dụng LCS trong trường học, cộng đồng cho mục tiêu giáo dục đã được phổ biến rộng rãi và không yêu cầu nhiều yêu cầu về dữ liệu hay kỹ thuật. Các ứng dụng LCS cho mục tiêu phổ biến thông tin, nghiên cứu, quan trắc/giảm phơi nhiễm cá nhân hay xác định điểm

nóng, đặc điểm nguồn thải ONKK là các ứng dụng mới gần đây. Với các mục tiêu liên quan đến quản lý và chính sách, ứng dụng LCS cần xem xét và bổ sung nhiều yêu cầu kỹ thuật như có mạng lưới, sử dụng kết hợp (hybrid) và yêu cầu cao đối với vận hành, bảo dưỡng hay phân tích và xử lý dữ liệu. Tuy nhiên, LCS cũng chỉ mới được ứng dụng cho một số hỗ trợ về công tác quản lý và chính sách như triển khai các hành động giảm ô nhiễm hay đánh giá hiệu quả của chiến lược kiểm soát ô nhiễm, và chưa được ứng dụng cho tính toán phân bổ nguồn thải và công tác ban hành chính sách.

22 The New York Times, 2020. <https://www.nytimes.com/interactive/2020/12/17/world/asia/india-pollution-inequality.html>

23 Xem thêm tại: <https://laserpulse.org/portfolio/avoid-the-trap/>

24 US EPA, 2021. Air sensor Toolbox.

Bảng 1: Nhu cầu về dữ liệu/ thông tin cho từng ứng dụng của LCS (Nguồn: WMO, 2020[25])

Nhu cầu sử dụng		Nhu cầu về dữ liệu			Năng lực cần thiết			
Các ứng dụng của LCS	Hiện tại	Có phù hợp sử dụng LCS không?	Một thiết bị hay nhiều thiết bị LCS (mạng lưới)?	Có cần dữ liệu bổ trợ (như khí tượng, phát thải...) không?	Có cần đo trong thời gian dài không?	Lên kế hoạch và Thiết kế nghiên cứu	Vận hành và Bảo dưỡng	Phân tích và xử lý dữ liệu
Giáo dục	Tại trường học	Rộng rãi	Có	Một thiết bị	Không	Không	Thấp	Thấp
	Cho cộng đồng	Rộng rãi	Có	Một thiết bị	Không	Không	Thấp	Trung bình
Tăng cường tiếp cận thông tin	Dự báo CLKK	Mới nổi	Có	Mạng lưới	Có thể	Không	Trung bình	Trung bình
	Báo cáo AQI	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có thể	Không	Trung bình	Trung bình
	Giảm phơi nhiễm (cá nhân)	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Một thiết bị	Có thể	Không	Thấp	Trung bình
	Nghiên cứu dịch tễ học	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có	Có thể	Cao	Cao
Nghiên cứu và ra quyết định	Giảm phơi nhiễm (cá nhân)	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Một thiết bị	Có thể	Có thể	Trung bình	Trung bình
	An toàn và sức khỏe nghề nghiệp	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Một thiết bị hoặc Mạng lưới	Có thể	Có thể	Trung bình	Cao

Bảng 1: Nhu cầu về dữ liệu/ thông tin cho từng ứng dụng của LCS (Nguồn: WMO, 2020[25])

Các ứng dụng của LCS	Nhu cầu sử dụng		Nhu cầu về dữ liệu			Năng lực cần thiết		
	Hiện tại	Có phù hợp sử dụng LCS không?	Một thiết bị hay nhiều thiết bị LCS (mạng lưới)?	Có cần dữ liệu bổ trợ (như khí tượng, phát thải...) không?	Có cần đo trong thời gian dài không?	Lên kế hoạch và Thiết kế nghiên cứu	Vận hành và Bảo dưỡng	Phân tích và xử lý dữ liệu
Nghiên cứu và ra quyết định	Phát hiện điểm nóng	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có	Cao	Cao	Cao
	Quan trắc gần nguồn thải	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có thể	Cao	Cao	Cao
	Quan trắc bổ sung	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có thể	Cao	Cao	Cao
	Phản ứng khẩn cấp	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có	Cao	Cao	Cao
	Đầu vào cho mô hình	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Một thiết bị	Có	Cao	Cao	Cao
	Thẩm định mô hình	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới	Có	Cao	Cao	Cao
	Nghiên cứu khí quyển	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có	Cao	Cao	Cao

Bảng 1: Nhu cầu về dữ liệu/ thông tin cho từng ứng dụng của LCS (Nguồn: WMO, 2020[25])

Các ứng dụng của LCS	Nhu cầu sử dụng		Nhu cầu về dữ liệu			Năng lực cần thiết		
	Hiện tại	Có phù hợp sử dụng LCS không?	Một thiết bị hay nhiều thiết bị LCS (mạng lưới)?	Có cần dữ liệu bổ trợ (như khí tượng, phát thải...) không?	Có cần đo trong thời gian dài không?	Lên kế hoạch và Thiết kế nghiên cứu	Vận hành và Bảo dưỡng	Phân tích và xử lý dữ liệu
Quản lý và chính sách	Xác định nguồn thải	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có	Cao	Cao	Cao
	Sàng lọc địa điểm phù hợp để lắp thiết bị tiêu chuẩn	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có thể	Cao	Cao	Cao
	Đánh giá hiệu quả của chiến lược kiểm soát ô nhiễm	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có thể	Cao	Cao	Cao
	Triển khai chính sách công bằng và hành động giảm nhẹ	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có	Cao	Cao	Cao
	Tăng cường kiểm soát các sự cố phát thải ONKK lớn	Xu hướng mới	Có, nếu sử dụng đúng cách	Mạng lưới, hỗn hợp	Có	Cao	Cao	Cao
	Tính toán phân bố nguồn thải	Chưa có	Chưa	Nên sử dụng thiết bị tham chiếu	Có	Cao	Cao	Cao
	Hỗ trợ công tác quản lý và ban hành chính sách	Chưa có	Chưa	Nên sử dụng thiết bị tham chiếu	Có	Cao	Cao	Cao

A teal-colored geometric graphic on the left side of the slide, consisting of a large triangle pointing right, with a smaller triangle inside it, creating a layered effect.

2.

Lựa chọn
Thiết bị
Cảm biến
đo $PM_{2.5}$
giá thành
thấp

Để lựa chọn LCS phù hợp, người dùng cần xem xét các tiêu chí sau:

- Chất lượng dữ liệu của LCS: Khoảng đo, giới hạn phát hiện, khoảng thời gian đo, ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm, độ chụm, độ chệch.
- Các yếu tố khác: Điều kiện môi trường, thời gian thu thập dữ liệu, và yêu cầu chất lượng dữ liệu.

2.1 Thông số chất lượng dữ liệu

Khoảng đo (measurement range) và giới hạn phát hiện (detection limit): Khoảng đo là khoảng nồng độ thấp nhất đến cao nhất mà LCS có thể đo được (Ví dụ: LCS đo được trong khoảng $0 \div 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). *Giới hạn phát hiện* là nồng độ thấp nhất của chất ô nhiễm trong môi trường mà cảm biến có thể phát hiện. Người dùng cần cân nhắc khoảng nồng độ tại khu vực quan trắc để lựa chọn LCS có khoảng đo và giới hạn phát hiện phù hợp. Phần lớn các hãng sản xuất LCS có cung cấp thông tin khoảng đo trong hướng dẫn sử dụng đi kèm.

Khoảng thời gian đo (averaging time): *Khoảng thời gian đo* là khoảng thời gian cho một giá trị trung bình của các tín hiệu sẽ được xuất ra. Các LCS khác nhau có khoảng thời gian đo thích hợp khác nhau. Với LCS có khoảng thời gian đo ngắn (ví dụ 5 phút), kết quả đo sẽ khá hữu ích cho việc quan trắc nguồn động và quan trắc vào những thời điểm nồng độ chất ô nhiễm biến đổi nhanh chóng. LCS có khoảng thời gian đo dài (ví dụ 1 giờ) sẽ phù hợp hơn với việc quan trắc nguồn tĩnh với nồng độ biến đổi chậm. Các nhà sản xuất thường hiển thị nồng độ trung bình trong khoảng thời gian đo vào thời điểm bắt đầu hoặc kết thúc. Lưu ý, khoảng thời gian đo không phải là thời gian đáp ứng (responding time - thời gian đo mỗi tín hiệu).

Ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm: Đây là hai thông số rất quan trọng để người dùng xem xét vì độ tin cậy của dữ liệu đo phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường đo. Các nhà sản xuất cảm biến $\text{PM}_{2.5}$ hiện nay đang tập trung giải quyết ảnh hưởng của độ ẩm đến độ tin cậy của kết quả đo, đặc biệt tại các nước có độ ẩm cao như khu vực Đông Nam Á.

Nếu có thể, nên ưu tiên chọn LCS có kèm thêm cảm biến đo thông số khí tượng và các chất ô

nhiễm không khí khác. Các số liệu này có thể hỗ trợ cho việc đánh giá chất lượng dữ liệu $\text{PM}_{2.5}$ thu được.

Độ chụm (precision) và độ chệch (bias): *Độ chụm và độ chệch* thể hiện cho độ tin cậy của dữ liệu đo. Độ chụm thể hiện cho mức lặp lại các kết quả đo (thường là để đánh giá sự tương đồng giữa các kết quả đo của các LCS của cùng một nhà sản xuất). *Độ chệch* thể hiện mức độ sai lệch của kết quả đo của LCS so với giá trị “đúng” (giá trị “đúng” thường là giá trị đo bằng thiết bị hoặc phương pháp chuẩn hoặc thiết bị tham chiếu). Trước khi lựa chọn LCS, nên tham khảo các đặc điểm kỹ thuật từ nhà sản xuất về độ chụm và độ chệch hoặc các thông tin tương đương. Bên cạnh đó, người dùng có thể tự xác định độ chụm và độ chệch bằng cách đánh giá hoạt động của LCS nhằm thu được dữ liệu có độ tin cậy cao (Xem Phần 4).

2.2 Các tiêu chí lựa chọn khác cần xem xét

Giá thành: Giá của LCS có thể dao động tùy thuộc vào chất gây ô nhiễm cần đo, mức độ chính xác theo mục tiêu quan trắc. Nói chung, giá thành của thiết bị LCS nằm trong khoảng từ 1 triệu đến 60 triệu. Người sử dụng LCS nên khảo sát thị trường để xác định LCS nào phù hợp nhất với ngân sách và nhu cầu thu thập dữ liệu của mình.

Xác định LCS đã được hiệu chuẩn hay chưa: Việc hiệu chuẩn là so sánh tín hiệu thu được của một thiết bị với một giá trị tham chiếu đã biết. Trước khi lựa chọn, cần tìm hiểu xem LCS đã được hiệu chuẩn bởi nhà sản xuất hay chưa. Lưu ý là để kết quả đo có độ chính xác cao, người dùng cần phải hiệu chuẩn trước, trong, và sau khi đo đạc trong điều kiện cụ thể của khu vực nghiên cứu, ngoài việc hiệu chuẩn của nhà sản xuất.

Mức độ thân thiện với người dùng của LCS: Nghĩa là sự dễ dàng trong sử dụng LCS. LCS có thể được sử dụng bởi nhiều nhóm người dùng khác nhau, từ những người không được đào tạo đúng chuyên ngành cho đến các nhà nghiên cứu có nhiều năm kinh nghiệm và chuyên môn cao. Các LCS có biểu diễn thông tin một cách trực quan và dễ sử dụng sẽ phù hợp với các dự án cần có sự tham gia của cộng đồng, trong khi các LCS cung cấp dữ liệu chi tiết hơn sẽ phù hợp cho người dùng với mục tiêu nghiên cứu.

Vỏ thiết bị: Vỏ thiết bị có chức năng bảo vệ thiết bị khỏi các tác động từ môi trường bên ngoài (như nước mưa tạt, ánh sáng, sự thay đổi nhiệt độ, và tiếng ồn của thiết bị). LCS có vỏ thiết bị tốt, chống nước, và không có phản ứng hóa học với các chất trong môi trường sẽ bền hơn theo thời gian. Nếu vỏ thiết bị làm từ các vật liệu không bền, các chất này có thể phản ứng với chất ô nhiễm và thậm chí có thể giải phóng chất gây ô nhiễm, ảnh hưởng tới kết quả đo.

Nguồn điện/Pin: Cần lưu ý mục tiêu của việc quan trắc để lựa chọn LCS sử dụng nguồn điện trực tiếp, pin mặt trời, năng lượng gió hay pin kèm theo cho phù hợp. Ngoài ra, cần chú ý loại cổng vào của nguồn và loại dây cáp sạc của cảm biến vì đây là các thiết bị dễ bị hư hỏng, thường xuyên dẫn đến việc mất nguồn và mất dữ liệu khi đo đạc thực tế.

Nếu thiết bị LCS dùng pin, người dùng cũng nên tìm hiểu thời gian sử dụng của pin và loại pin (pin sạc được nhiều lần hay pin sử dụng một lần).

Cách thức lưu trữ và lấy dữ liệu: Số liệu LCS có thể được hiển thị, lưu trữ, và thu thập bằng các cách thức khác nhau. Dữ liệu có thể được hiển thị trực quan thông qua màn hình, đèn tín hiệu, thông số kỹ thuật trên website hệ thống v.v hoặc không hiển thị. Một số LCS yêu cầu người dùng phải tự ghi dữ liệu một cách thủ công. Cách này có thể dẫn đến vấn đề mất dữ liệu. Người dùng nên chọn LCS vừa lưu trữ dữ liệu bằng bộ nhớ trong hoặc thẻ nhớ và bằng hệ thống (sử dụng thuật toán để tải dữ liệu lên trang web/ứng dụng điện thoại/máy chủ (server)/lưu trữ đám mây của nhà sản xuất). Người dùng cũng nên kiểm tra múi giờ (timezone) của số liệu.

Độ bền của LCS: Độ bền ở đây có thể được hiểu là khả năng vận hành trong điều kiện môi trường biến đổi. Ví dụ, các máy đo có thể bị va chạm, rung lắc, va vào các vật thể khác hoặc bị rơi khi người dùng mang theo bên mình hay được sử dụng để quan trắc nguồn động trên các phương tiện. Các LCS đo chất lượng không khí ngoài trời đều có khả năng phải tiếp xúc với các điều kiện thời tiết có nhiều thay đổi về nhiệt độ, độ ẩm và bụi. Những nhà sản xuất LCS có thể đưa thông tin về độ bền tổng thể của thiết bị. Mặc dù vậy, họ thường không mô tả chi tiết về số lần người dùng có thể làm rơi thiết bị hoặc những trường hợp có thể xảy ra dẫn đến việc thiết bị bị hỏng.

Tuổi thọ của LCS: Các LCS khác nhau có thể có tuổi thọ khác nhau tùy thuộc chất lượng cảm biến, hãng sản xuất, và môi trường đo. Cần lựa chọn LCS có tuổi thọ phù hợp với mục tiêu chất lượng dữ liệu và thời gian của chương trình đo. Sau một thời gian nhất định cảm biến có thể vẫn hoạt động, tuy nhiên độ tin cậy của kết quả sẽ giảm. Môi trường đo càng ô nhiễm thì tuổi thọ của LCS càng ngắn. Các chương trình đo ngắn trong vài tháng mà chỉ kéo dài trong một mùa thì có thể chỉ cần LCS có tuổi thọ ngắn hơn. Chương trình đo dài, đặc biệt là hơn một năm, LCS cần có tuổi thọ dài hơn và yêu cầu cao hơn với các hoạt động đảm bảo vận hành của LCS hoặc có kế hoạch thay thế và bảo trì LCS.

Thông tin khác được cung cấp bởi nhà sản xuất: Ngoài các tiêu chí đã nêu, khi lựa chọn LCS, người dùng cần xem thêm các thông tin sau để sử dụng thiết bị hiệu quả, bao gồm:

- Thông tin chung về thiết bị (cách bật, tắt, cách sạc hoặc thay pin).
- Nguyên lý hoạt động của cảm biến;
- Các lỗi thường gặp khi sử dụng cảm biến và cách khắc phục;
- Hướng dẫn hiệu chuẩn (nếu LCS có khả năng đó);
- Yêu cầu bảo trì; bảo dưỡng;
- Thông tin của bộ phận hỗ trợ khách hàng (khi có sự cố hoặc các vấn đề cần hỏi đáp);
- Các yếu tố ảnh hưởng (ngoài nhiệt độ và độ ẩm);
- Độ chính xác và các thông số hoạt động khác của cảm biến trong thực tế (lý tưởng nhất là tham khảo các thông tin này từ các bài báo khoa học đánh giá cảm biến hay chương trình đánh giá LCS do US EPA, AirParif, AQ-SPEC thực hiện). *Xem thêm tại Phần 4.*

Các LCS không có hướng dẫn sử dụng hoặc có hướng dẫn sử dụng không đầy đủ sẽ gây khó khăn trong việc sử dụng và bảo trì. Chính vì vậy, người dùng nên đọc hoặc hỏi về hướng dẫn sử dụng trước khi quyết định lựa chọn LCS.

A large teal graphic element on the left side of the page, consisting of a large triangle pointing right, with a smaller, lighter green triangle nested inside its bottom-left corner.

3.

Thiết kế và thực hiện chương trình đo $PM_{2.5}$

3.1 Thiết kế chương trình quan trắc

Thiết kế chương trình đo là rất quan trọng để có thể đáp ứng mục tiêu đo. Đối với bất kỳ các hoạt động quan trắc nào đều có hai tiêu chí cần đạt cần đảm bảo: Độ chính xác của kết quả đo và tính đại diện của kết quả [26]. Độ chính xác được xác định thông qua các tiêu chí (thông số) cụ thể như độ chệch, độ chụm, sai số tương đối... tương ứng với các mục đích khác nhau.

Trong phần tiếp theo chúng tôi trình bày một số thông tin về việc thiết kế chương trình quan trắc. Bước đầu tiên để thiết kế chương trình quan trắc là xác định mục tiêu đo. Các mục đích đo đã được trình bày trong mục 1.3.3. Phần tiếp theo trình bày về lựa chọn vị trí quán trắc (mục 3.1.2), lựa chọn địa điểm và thời gian đo (mục 3.1.3).

Trước khi thực hiện chương trình đo, cần thực hiện đánh giá hoạt động LCS (được trình bày chi tiết ở phần 4 và Phụ lục B).

3.1.1 Xác định mục tiêu quan trắc

Bước đầu tiên trong thiết kế chương trình quan trắc là xác định mục tiêu đo. Theo Hướng dẫn sử dụng LCS của US EPA, LCS có thể được ứng dụng cho 5 nhóm mục tiêu đo, gồm: i) Tìm hiểu, giáo dục và phổ biến thông tin; ii) Nhận dạng và đánh giá các điểm nóng về ô nhiễm không khí; iii) Quan trắc bổ sung cho mạng lưới đã có; iv) Quan trắc tiếp xúc cá nhân và v) Quan trắc đánh giá tuân thủ (Chi tiết mô tả và ví dụ đã được trình bày tại Phần 1.3.3). Lưu ý, cách phân loại mục tiêu đo này mang tính tham khảo. Mỗi mục tiêu này có các yêu cầu về độ chính xác về dữ liệu khác nhau, do đó, người dùng cần xem xét kỹ yêu cầu dữ liệu của từng mục tiêu đo để lựa chọn LCS cũng như thiết kế chương trình đo phù hợp. Hiện nay, không có LCS nào đáp ứng các yêu cầu của hoạt động quan trắc tuân thủ, do đó mục tiêu này không được đưa vào hướng dẫn này.

Bảng 2: Ví dụ về yêu cầu mục tiêu chất lượng dữ liệu cảm biến tương ứng với phạm vi sử dụng dữ liệu đo từ cảm biến [1]

TT	Mục tiêu	Độ chệch	Mức độ đầy đủ của dữ liệu	Ghi chú
1	Tìm hiểu, giáo dục và phổ biến thông tin	<50%	≥50%	Ở mục tiêu/ứng dụng này sai số của phép đo không quan trọng bằng việc cung cấp thông tin về khoảng nồng độ của bụi PM _{2.5} trong không khí.
2	Nhận dạng và đánh giá các điểm nóng về ô nhiễm không khí	<30%	≥75%	Ở mục tiêu/ứng dụng này cần dữ liệu chất lượng cao đảm bảo độ tin cậy về nồng độ bụi trong không khí đáp ứng mục tiêu quan trắc.
3	Quan trắc bổ sung cho mạng lưới đã có	<20%	≥80%	Với mục tiêu/ứng dụng này dữ liệu từ LCS cần có độ tin cậy cao để bổ sung phần dữ liệu trống mà hệ thống quan trắc hiện chưa có, nếu không sẽ “gây nhiễu” thông tin.
4	Quan trắc tiếp xúc cá nhân	<30%	≥80%	Độ chệch được đề xuất dựa trên cơ sở tham khảo từ các báo cáo khoa học liên quan. Dữ liệu có độ tin cậy thấp hơn sẽ gây khó khăn trong việc đánh giá phơi nhiễm.

3.1.2 Lựa chọn vị trí quan trắc

Lựa chọn vị trí quan trắc đóng vai trò quan trọng để “kết quả đo có tính đại diện” cho khu vực quan trắc đã xác định. Trên thực tế không thể lựa chọn địa điểm đo đại diện nhất cho một khu vực. Đối với một khu vực rộng như một đô thị, người ta có thể dùng các tiêu chí như phủ đầy không gian ở mức độ nhất định, điều chỉnh theo mật độ dân số hay khí tượng để lựa chọn các địa điểm đo. Bên cạnh đó, việc phân nhóm các điểm đo theo các loại hình như nền đô thị, giao thông, cũng thường được áp dụng để đảm bảo có thể đánh giá và phân tích dữ liệu từ các loại hình điểm đo có đặc tính khác nhau (chịu ảnh hưởng của các nguồn khác nhau).

Do việc lựa chọn vị trí đo phụ thuộc vào mục đích của chương trình quan trắc, chúng tôi không đề xuất tiêu chí để lựa chọn vị trí đo trong khuôn khổ của Hướng dẫn này. Tuy nhiên, về nguyên tắc lựa chọn điểm đo không khí xung quanh cần xem xét các yếu tố sau:

- i) Vị trí phân bố các nguồn thải,
- ii) Địa hình,
- iii) Khí tượng (hướng gió),
- iv) Mật độ dân cư (để đo phơi nhiễm), và
- v) Các điểm đo chất lượng không khí lân cận sẵn có.

Một số ví dụ về tiêu chí chọn vị trí đo như: 1. Đặt thiết bị sao cho bộ phận hút khí của thiết bị cao hơn mặt đất, thường là 1,5 mét để tránh ảnh hưởng của bụi cuốn lên từ mặt đất; 2. Nếu mục tiêu đo là CLKK xung quanh, không nên đặt thiết bị đo ở gần những nguồn cục bộ gây nhiễu cho kết quả đo như là khói bếp, khu vực đỗ xe, cục nóng điều hoà, lò hóa vàng v.v. Nếu muốn đo CLKK chịu ảnh hưởng của các nguồn ô nhiễm như giao thông thì việc đặt thiết bị trên đường hoặc sát đường là phù hợp; 3. Khu vực đo không nên bị tác động bởi các dòng khí quán, luồng khí lớn làm ảnh hưởng tới phân bố nồng độ bụi tại vị trí đo. Lưu ý là các vật chắn (như nhà cao tầng, cây cao) có thể tác

động lên dòng khí nên cần đặt thiết bị cách xa các vật chắn một khoảng cách nhất định. Tham khảo thêm tài liệu hướng dẫn của US EPA cho LCS²⁵.

Đối với lựa chọn vị trí điểm đo cho các mục tiêu quan trắc sử dụng LCS (phần 1.3), chúng tôi có một số khuyến nghị như sau: Đối với mục tiêu *Tìm hiểu, giáo dục và nâng cao nhận thức*, khuyến nghị xem xét các yếu tố như trên; đối với mục tiêu *Nhận dạng và đánh giá điểm nóng về ONKK*, khuyến nghị tham khảo các tiêu chuẩn và ý kiến của đơn vị hoặc người có chuyên môn; đối với mục tiêu *Quan trắc bổ sung*, hiện nay chưa có quy định tại Việt Nam nên có thể coi là khó thực hiện, trừ trường hợp nghiên cứu; đối với mục tiêu *Quan trắc tiếp xúc*, khuyến nghị đặt thiết bị đo trong vùng thở (ở trước ngực hoặc ở độ cao tương ứng khi đặt LCS trong nhà). Một số ví dụ về lựa chọn vị trí điểm đo được trình bày ở Phụ lục A2.

3.1.3 Chọn thời gian quan trắc

Việc chọn thời gian đo bao gồm: Lựa chọn thời điểm đo, khoảng thời gian đo và tần suất đo trong chương trình đo.

Lựa chọn thời gian đo cũng cần đảm bảo tính đại diện của dữ liệu thu được. Ví dụ, nếu đo bụi $PM_{2.5}$ ngay cạnh vị trí bắn pháo hoa vào giao thừa thì kết quả đo không thể đại diện cho nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trong năm mà chỉ phản ánh tại thời điểm đo. Nếu muốn đo chất lượng không khí trong một ngày thì phải đo liên tục trong ngày đó (ví dụ ít nhất là 20 giờ) vì nồng độ bụi $PM_{2.5}$ biến thiên trong ngày. Nếu muốn đánh giá nồng độ $PM_{2.5}$ trong năm tại miền Bắc thì cần nắm bắt quy luật nồng độ bụi $PM_{2.5}$ biến thiên vào các mùa trong năm và do đó nên đo ít nhất vào hai mùa là mùa mưa (hè) và mùa khô (đông/xuân).

3.2 Thực hiện chương trình quan trắc

Chương trình quan trắc sẽ bắt đầu sau khi xác định mục tiêu đo và thiết kế chương trình đo, LCS được kiểm tra hoạt động và hiệu chuẩn, đặt đúng vị trí, đảm bảo tuân thủ các yêu cầu thiết kế. Trong quá trình đo, cần theo dõi một cách hệ thống hoạt

25 Tham khảo thêm hướng dẫn của US-EPA tại <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/guide-siting-and-installing-air-sensors>

động của LCS, đảm bảo các điều kiện để LCS hoạt động ổn định (như nguồn điện/pin), ghi nhật ký quá trình đo với đầy đủ với các thông tin liên quan đến môi trường xung quanh (điều kiện khí tượng như tốc độ gió, hướng gió, mưa, nhiệt độ, độ ẩm, các nguồn ô nhiễm không khí gần đó). Cần thực hiện các quy trình đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng nhằm thu được kết quả đo đáp ứng yêu cầu của chương trình quan trắc [1].

3.2.1 Đảm bảo chất lượng (Quality Assurance - QA)

Đảm bảo chất lượng là một *kế hoạch* (chương trình) gồm các quy trình có hệ thống và các yêu cầu kỹ thuật nhằm đảm bảo rằng kết quả đo của LCS sẽ đạt được độ tin cậy đã xác định. Như vậy chương trình QA gồm các quy trình nhằm ngăn ngừa các sai sót xảy ra. QA cần được duy trì thường xuyên cùng với kiểm soát chất lượng (QC) để kịp thời khắc phục các sự cố, tránh tình trạng

mất dữ liệu hay LCS bị ảnh hưởng bởi các điều kiện xung quanh.

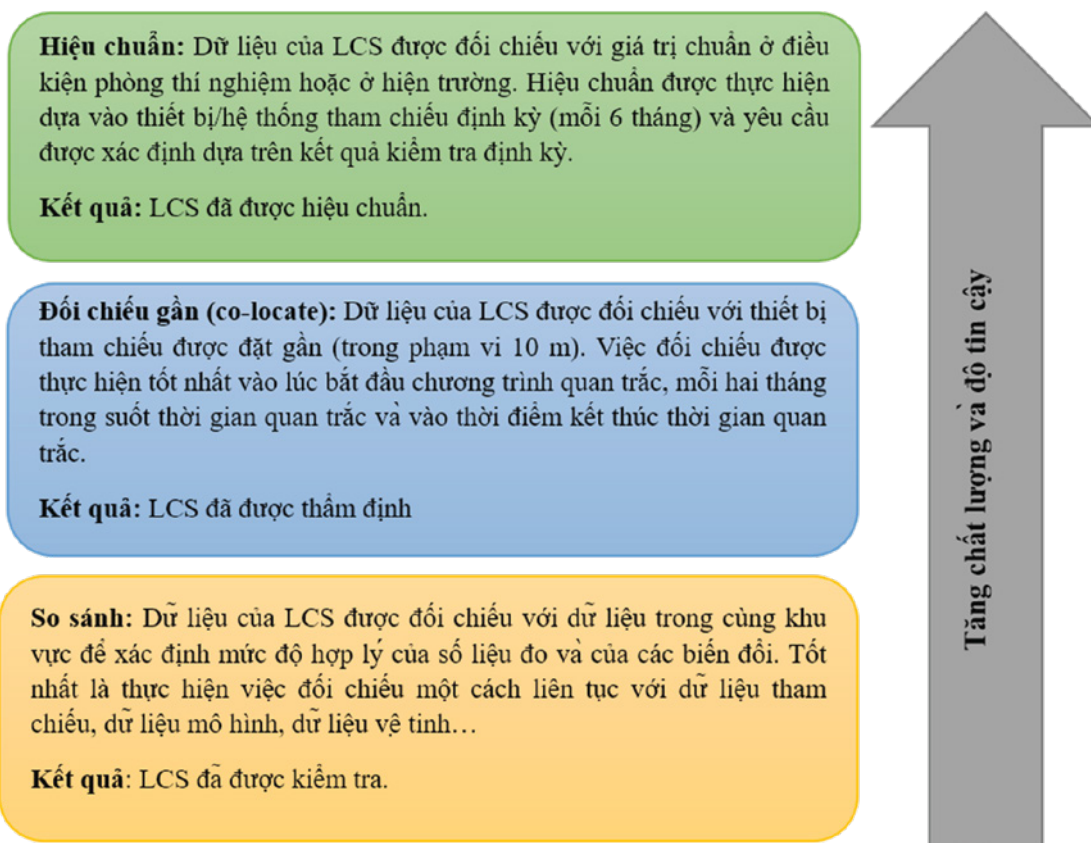
Việc đảm bảo chất lượng về cơ bản bao gồm việc lập kế hoạch, quy trình thực hiện rõ ràng, xác định trách nhiệm của những người tham gia vận hành LCS, kèm theo các tài liệu, biểu mẫu.

Các quy trình đảm bảo chất lượng trong quan trắc chất lượng không khí sử dụng LCS bao gồm:

- Quy trình vận hành cảm biến;
- Quy trình đánh giá hoạt động của cảm biến;
- Quy trình bảo dưỡng cảm biến;

...

Các biểu mẫu thường dùng dùng bao gồm nhật ký đo hiện trường, sổ theo dõi hoạt động của thiết bị với phân công trách nhiệm cụ thể. Người dùng có thể tìm thấy rất nhiều tài liệu về hoạt động QA có sẵn tại các thư viện mở²⁶.



Hình 3: Các cấp độ xác thực dữ liệu LCS (WMO, 2020) [25]

26 Tham khảo tài liệu của US EPA: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-03/documents/508_csqapphandbook_3_5_19_mmedits.pdf

3.2.2 Kiểm soát chất lượng (Quality Control - QC)

Kiểm soát chất lượng (QC) là hoạt động kỹ thuật cụ thể, thường xuyên, có hệ thống, và bắt buộc đối với mỗi LCS để đảm bảo dữ liệu có độ tin cậy cao và tuân theo quy trình đưa ra trong QA.

Các hoạt động QC thường bao gồm lựa chọn các thông số kỹ thuật cần kiểm soát và mục tiêu chất lượng dữ liệu tương ứng với mục tiêu đo. Các hoạt động cụ thể gồm: thẩm định/hiệu chuẩn LCS, kiểm tra độ chính xác và độ chệch của LCS, bảo trì LCS và kiểm tra dữ liệu trong quá trình thu thập dữ liệu để xác định và khắc phục các lỗi tiềm ẩn như suy giảm tín hiệu đo của cảm biến, vấn đề liên quan đến vị trí đặt LCS, môi trường xung quanh... Dưới đây là chi tiết các hoạt động QC.

3.2.2.1 Xác thực (validation) số liệu đo của LCS

Có nhiều phương pháp và mức độ xác thực số liệu đo từ LCS. Lựa chọn thực hiện mức xác thực nào tùy thuộc mục tiêu chất lượng dữ liệu cũng như điều kiện thực tế. Hình 3.1 trình bày sơ đồ các mức xác thực LCS do WMO đề xuất.

Xác thực số liệu đo LCS thường được thực hiện bằng cách đối chiếu kết quả đo của LCS với bụi chuẩn²⁷ hoặc với kết quả đo được từ các thiết bị tiêu chuẩn/tham chiếu. Lý tưởng là việc xác thực dữ liệu LCS được thực hiện trong cùng các điều kiện (nhiệt độ và độ ẩm, khoảng nồng độ, các chất khí nền, v.v.) như trong môi trường mà LCS sẽ đo đặc thực tế, vì nhiều cảm biến chịu ảnh hưởng lớn bởi các điều kiện này. (Chi tiết xem tại Mục 4 và Phụ lục B).

Một số thông số đánh giá chất lượng dữ liệu LCS

- Độ chệch (bias)
- Độ chụm (precision)
- Độ tuyến tính giữa số liệu của LCS và giá trị đối chiếu
- Sai số

- Mức độ đầy đủ của dữ liệu

Ngoài ra còn có thể đánh giá thêm một số yếu tố như:

- Ảnh hưởng của một số thông số khí tượng đến kết quả đo
- Khoảng đo
- Độ trôi

Thông tin cụ thể về các thông số/yếu tố đánh giá được trình bày ở Phần 4.

Khi xác thực dữ liệu từ LCS, nếu kết quả đánh giá không đạt được mục tiêu chất lượng dữ liệu đã xác định, đặc biệt là có sự sai lệch có tính hệ thống với giá trị tham chiếu, cần chuẩn hóa giá trị đo của LCS theo giá trị tham chiếu. Ví dụ về chuẩn hóa giá trị đo của LCS theo giá trị tham chiếu được trình bày ở Phụ lục B.

3.2.2.2. Bảo dưỡng LCS trong quá trình đo

Bảo dưỡng LCS là một hoạt động nhằm duy trì sự ổn định của LCS trong quá trình đo. Việc thực hiện quy trình bảo dưỡng đầy đủ giúp giảm mức độ “lỗi” của dữ liệu đo, đồng thời kéo dài thời hạn sử dụng của cảm biến. Một quy trình bảo dưỡng về cơ bản bao gồm các công việc sau:

- Làm sạch các bề mặt và các bộ phận bên trong và bên ngoài, đặc biệt là bộ phận quang của cảm biến để loại bỏ sự tích tụ bụi;
- Làm sạch/thay thế bộ phận quạt hút, dẫn khí;
- Thay thế bộ lọc (nếu có);
- Thay thế cảm biến khi bị lỗi hoặc hết thời hạn sử dụng;
- Thay pin sạc, kiểm tra nguồn điện cho LCS;
- Xem xét, rà soát dữ liệu đo để phát hiện các lỗi như: kết quả đo bất thường, giảm tín hiệu đo một cách có hệ thống, hay các bất

²⁷ Ví dụ về các bụi chuẩn là Bụi đô thị (Urban Particulate Matter - UPM), Bụi đường Arizona (Arizona Road Dust - AZRD) và Hạt Latex Polystyrene (Polystyrene Latex Spheres - PSL). Xem thêm về bụi chuẩn tại Phụ lục B.

thường khác. Nếu các sự cố về thiết bị không được phát hiện, có thể tạo ra dữ liệu có xu hướng ổn định và lặp lại (ngay cả khi nồng độ chất ô nhiễm luôn biến động) hoặc thay đổi quá đột ngột thường bị nhầm lẫn với ảnh hưởng của điều kiện tự nhiên;

- Kiểm tra vị trí đặt LCS để đảm bảo không ảnh hưởng đến hoạt động của cảm biến.

3.2.3. Phân tích và biểu diễn số liệu

Sau khi thu thập số liệu đo, việc phân tích số liệu để trình bày kết quả và chia sẻ thông tin là quan trọng. Về biểu diễn số liệu, có thể tham khảo một số cách phổ biến như: biểu diễn sự thay đổi nồng độ bụi theo thời gian bằng biểu đồ (hàng ngày, hàng tuần, theo mùa hoặc hàng năm). Bên cạnh đó, có thể phân tích phân bố nồng độ bụi theo không gian (bản đồ) từ dữ liệu của nhiều cảm biến. Lưu ý, cần đưa ra các thông tin liên quan đến QA/QC khi biểu diễn số liệu. Người dùng có thể tham khảo bộ công cụ so sánh vận hành của LCS với thiết bị tham chiếu được phát triển bởi INEST²⁸.

28 Tham khảo tài liệu: Công cụ hỗ trợ xử lý và phân tích dữ liệu phát triển bởi INEST

4.

**Đánh giá
hoạt động
của thiết bị
cảm biến
đo $PM_{2.5}$
giá thành
thấp**

Việc đánh giá hoạt động của LCS là cần thiết và quan trọng để giúp xác định chất lượng dữ liệu, độ tin cậy của dữ liệu. Đây cũng là cơ sở để đánh giá xem LCS này có phù hợp với các mục tiêu đo và mục đích sử dụng dữ liệu hay không. Chính vì vậy, đánh giá hoạt động của LCS cần được thực hiện trước khi đưa LCS vào sử dụng. Trong tài liệu này, chúng tôi tham khảo hướng dẫn đánh giá LCS của các tổ chức quốc tế như US EPA và WMO để đưa ra các tiêu chí đánh giá (Bảng 4.1) và mức giá trị đề xuất (Bảng 4.2). Tại Việt Nam hiện nay, chưa có tài liệu hướng dẫn hoặc quy định cụ thể nào cho hoạt động đánh giá LCS.

Đánh giá hoạt động của LCS tối thiểu cần được thực hiện ở mức độ cơ bản, là đánh giá tại hiện trường cùng với thiết bị tham chiếu (hay còn gọi là đối chiếu gần – co-locate). Đánh giá hoạt động của LCS bao gồm: (1) đánh giá độ chụm (precision) của các LCS trong cùng một nhóm (hãng sản xuất); (2) đánh giá độ tin cậy của dữ liệu đo từ LCS trên cơ sở so sánh với dữ liệu từ thiết bị tham chiếu, với các tiêu chí độ chệch (bias), độ tuyến tính (linearity) và sai số (error). Ngoài ra một số yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hoạt động của LCS như nhiệt độ, độ ẩm cần được xem xét khi đánh giá số liệu.

Để đánh giá hoạt động của LCS một cách toàn diện, hoạt động đánh giá nên được thực hiện với 2 đợt vào hai địa điểm khác nhau. Mỗi đợt đánh giá thường kéo dài 30 ngày liên tục, dữ liệu sử dụng đánh giá thường là dữ liệu trung bình 24 giờ với điều kiện ít nhất phải có được 75% dữ liệu hợp lệ trong khoảng thời gian đánh giá. Để đánh giá độ chụm của các LCS cần ít nhất là 3 thiết bị cùng loại (đối với thiết bị thương mại thì cùng model, hãng). Ngoài ra có thể xem xét đánh giá thêm các yếu tố như khoảng đo, độ trôi...

Việc đánh giá ở hai vị trí đo khác nhau nhằm đánh giá hoạt động của LCS trong các điều kiện khác nhau về nồng độ bụi $PM_{2.5}$, đặc tính bụi liên quan đến nguồn bụi, phân bố kích thước hạt cũng như các điều kiện môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, thời tiết và các yếu tố khác có khả năng ảnh hưởng đến hoạt động của LCS.

4.1. Đánh giá độ đầy đủ của bộ dữ liệu (data completeness)

Độ đầy đủ của bộ số liệu được xác định thông qua phần trăm đầy đủ của số liệu (%), được xác định bằng tỉ lệ giữa số lượng kết quả đo được trên thực tế so với số lượng kết quả đo kỳ vọng đạt được [Theo Thông tư 21/2012/BTNMT]. Độ đầy đủ của bộ dữ liệu cho phép đánh giá tính hợp lệ của số liệu. *Xem cách tính thông số này ở Phụ lục C.*

Theo hướng dẫn của US EPA [36], tính đầy đủ của dữ liệu quy định dữ liệu đo đặc của LCS phải đạt được 75% trong khoảng thời gian đánh giá (hàng giờ, hàng ngày, hàng quý, hàng năm) để số liệu được đánh giá là hợp lệ. Thông thường, dữ liệu không đầy đủ là do sự cố truyền dữ liệu; lỗi lưu trữ dữ liệu; mất điện và thời gian cần thiết để khởi động lại lần đo tiếp theo; do LCS phải dừng vì nhu cầu hiệu chuẩn thường xuyên hoặc dài hạn; và thời gian thiết bị phải ngừng hoạt động để sửa chữa. Đối với việc truyền dữ liệu, nếu dữ liệu được truyền bằng kết nối không dây, độ tin cậy của kết nối là rất quan trọng. Nên xem xét việc lưu trữ dữ liệu tại chỗ (sử dụng thẻ nhớ trong) để dữ liệu không bị mất nếu kết nối không dây bị gián đoạn.

4.2. Đánh giá độ chụm (precision)

Độ chụm là thông số giúp đánh giá mức độ tương đồng về kết quả đo của các LCS của cùng một nhà sản xuất thông qua xem xét sự sai khác kết quả đo giữa các LCS giống nhau trong cùng một điều kiện đo. Độ chụm là sự biến động quanh giá trị trung bình của một tập các kết quả đo từ đồng thời bởi ba LCS cùng loại (hoặc nhiều hơn) trong cùng một điều kiện đo. Độ chụm được đánh giá định lượng bằng độ lệch chuẩn (Standard Deviation - SD) hoặc hệ số biến thiên (Coefficient of variation - CV). *Xem cách tính độ chụm ở Phụ lục C.*

4.3. Đánh giá độ chệch (bias)

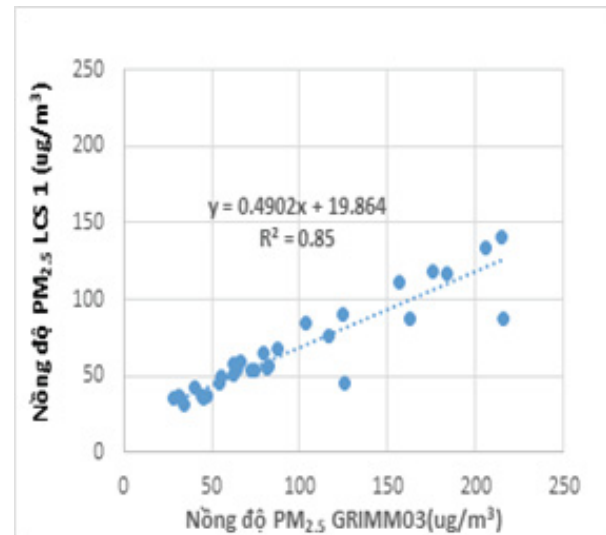
Độ chệch là thông số để hiện mức độ sai khác có tính hệ thống giữa kết quả đo của LCS và của thiết

bị tham chiếu có thể được xem như giá trị thực. Kết quả của LCS thường xuyên cao hơn hoặc thấp hơn kết quả của thiết bị tham chiếu. Độ chệch có thể được khắc phục bằng cách hiệu chuẩn lại LCS, hoặc chuẩn hóa lại quy trình vận hành.

- Trong đánh giá hoạt động của LCS ở hiện trường, độ chệch thường được xác định bằng cách sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính dạng $y = ax + b$ để mô tả mối quan hệ giữa kết quả đo bằng LCS với kết quả đo của thiết bị tham chiếu, trong đó kết quả của LCS là biến phụ thuộc (y) và kết quả của thiết bị tham chiếu là biến độc lập (x). Giá trị độ dốc (a) và đoạn chắn (b), được dùng để đánh giá độ chệch và hệ số tương quan (R^2) để đánh giá độ tuyến tính.
- Cần kiểm tra độ chệch của LCS thường xuyên do độ chệch có thể thay đổi theo điều kiện môi trường, ví dụ: với nhiệt độ và độ ẩm, tuổi thọ của cảm biến hoặc các yếu tố khác. Khi độ chệch đánh giá vượt quá tiêu chuẩn chất lượng dữ liệu, thì cần thực hiện hiệu chuẩn LCS. Hình 4.1 là một ví dụ cho thấy sự khác nhau giữa giá trị đo được bằng cảm biến và giá trị đo bằng thiết bị tham chiếu GRIMM.

4.4. Đánh giá mức độ tương quan tuyến tính (linearity)

Mức độ tương quan tuyến tính thường dùng để đánh giá mức độ tương đồng hay xu thế biến thiên kết quả đo của LCS so với kết quả đo của thiết bị tham chiếu thông qua việc đánh giá tương quan hồi quy tuyến tính. Tương quan là phương pháp được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu [29-34]. Mức độ tương quan được đánh giá qua hệ số tương quan (R^2), là đại lượng thống kê đo lường mức độ mạnh yếu của mối quan hệ giữa hai biến số, cung cấp thông tin về mức độ tương quan của các giá trị đo, hệ số tương quan càng cao, độ tuyến tính càng cao thể hiện xu thế biến thiên của dữ liệu LCS càng tương đồng với dữ liệu tham chiếu.



Hình 4: Ví dụ đánh giá mối tương quan giữa LCS và GRIMM²⁹

Tuy nhiên việc đánh giá mức độ tuyến tính thông qua hệ số tương quan chỉ cho phép đánh giá xu thế biến thiên kết quả đo của LCS so với thiết bị tham chiếu chứ không đủ để thể hiện độ tin cậy của dữ liệu. Có thể xảy ra trường hợp dữ liệu LCS và dữ liệu của thiết bị tham chiếu có độ tuyến tính rất cao R^2 xấp xỉ 1, nhưng vẫn có sai lệch giữa hai nhóm kết quả đo. Do đó, ngoài độ tuyến tính, cần phải xem xét thêm các chỉ số như độ chệch, sai số để xác định độ tin cậy của dữ liệu.

Ví dụ kết quả đánh giá mối tương quan tuyến tính giữa LCS và thiết bị tham chiếu GRIMM ở hình 4.1 cho thấy hệ số $R^2 = 0,85$ tương đối cao, nghĩa là xu thế biến thiên của LCS và GRIMM có độ tương đồng rất cao. Tuy nhiên giá trị hệ số góc $a = 0,49$ thấp hơn rất nhiều so với giá trị kỳ vọng $a = 1$ và giá trị đoạn chắn $b = 19,8$ cao hơn rất nhiều so với giá trị kỳ vọng được khuyến nghị bởi US EPA trong bảng 4.2 (trong đó giá trị tối ưu $b = 0$). Điều này cho thấy kết quả đo của LCS so với GRIMM vẫn có sự sai lệch.

4.5. Đánh giá sai số (error)

Sai số căn quân phương (RMSE) là chỉ số xác định sự sai lệch ngẫu nhiên giữa kết quả đo nồng độ

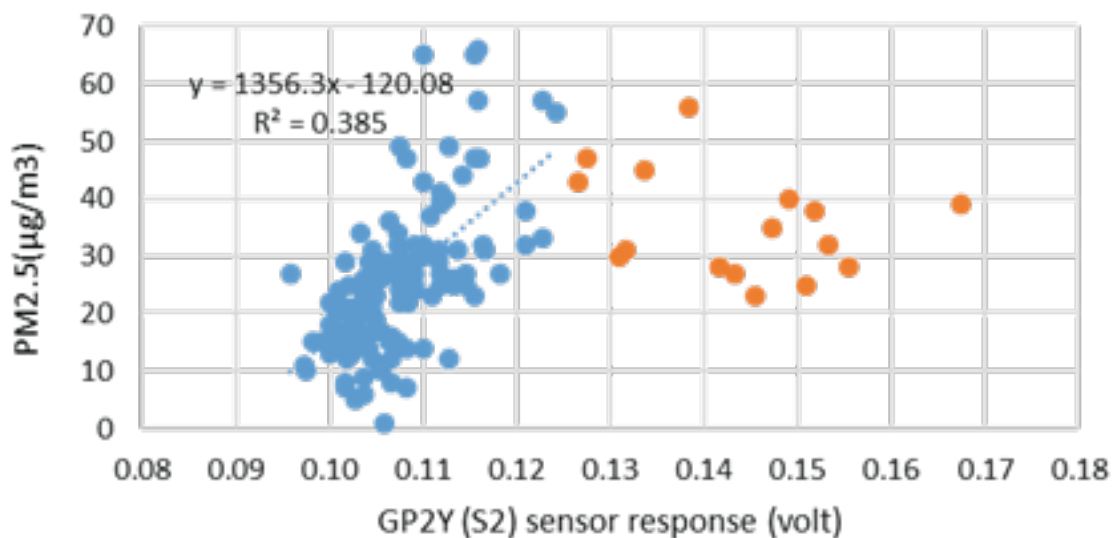
29 Số liệu được trích dẫn từ kết quả của Chương trình đánh giá vận hành của LCS do INEST phối hợp thực hiện cùng Live&Learn.

PM_{2.5} bằng LCS so với kết quả đo bằng thiết bị tham chiếu.

Sai số căn quân phương được chuẩn hóa (NRMSE) là chỉ số mô tả sai số tổng thể giữa phép đo bằng LCS và thiết bị tham chiếu có tính đến nồng độ trung bình. NRMSE hữu ích hơn so với RMSE khi đánh giá hoạt động của LCS khi nồng độ PM_{2.5} biến đổi trong phạm vi rộng. *Xem thêm cách tính RMSE và NRMSE trong Phụ lục C.*

4.6. Đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm)

Như trên đã phân tích, một điểm yếu của các LCS hiện nay chính là độ tin cậy của dữ liệu đo, phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường đo, trong đó có nhiệt độ và độ ẩm. Mối tương quan giữa độ ẩm và sự xuất hiện các giá trị ngoại lai đã được nghiên cứu trong nhiều cảm biến PM theo nguyên lý quang học [34]. Kết quả đo của các cảm biến PM_{2.5} sẽ không đáng tin cậy ở RH cao, thường thấy ở các khu vực nhiệt đới trong những tháng nhất định trong năm (trong mùa mưa). Mối tương quan giữa các giá trị đo PM_{2.5} giữa LCS với thiết bị tham chiếu BAM được đưa ra trong một nghiên cứu ở Bangkok, Thái Lan (Hình 4.2), theo đó, khi RH trên 95%, cảm biến cho kết quả đo không đáng tin cậy [35].

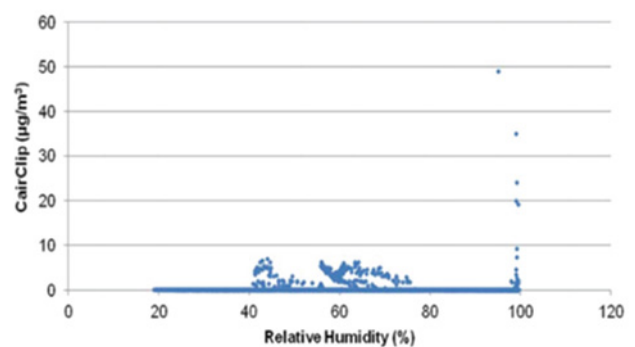


Hình 5: Ví dụ về tín hiệu của cảm biến trong trường hợp độ ẩm cao (GP2Y (S2) versus BAM 1020)^[35]

Cũng tương tự với nghiên cứu ở Thái Lan, theo nghiên cứu của Williams et al., 2014 [29], dữ liệu đo trung bình 5 phút cho thấy, tất cả các giá trị đo cao nhất của LCS đều ghi nhận được khi độ ẩm ở mức cao hơn 95% (Hình 4.3). Những điểm dữ liệu cao bất thường này được coi là các điểm ngoại lai (outlier) do ảnh hưởng của độ ẩm.

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm, cần khảo sát độ chệch, độ chụm, độ tuyến tính giữa LCS và kết quả tham chiếu ở các khoảng độ ẩm, nhiệt độ khác nhau để xem xét ở khoảng nhiệt độ và độ ẩm bao nhiêu thì kết quả bị sai lệch.

Ngoài ra, có thể sử dụng bộ dữ liệu hiện trường để đánh giá tiềm năng ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm đến kết quả đo của LCS bằng cách minh họa tác



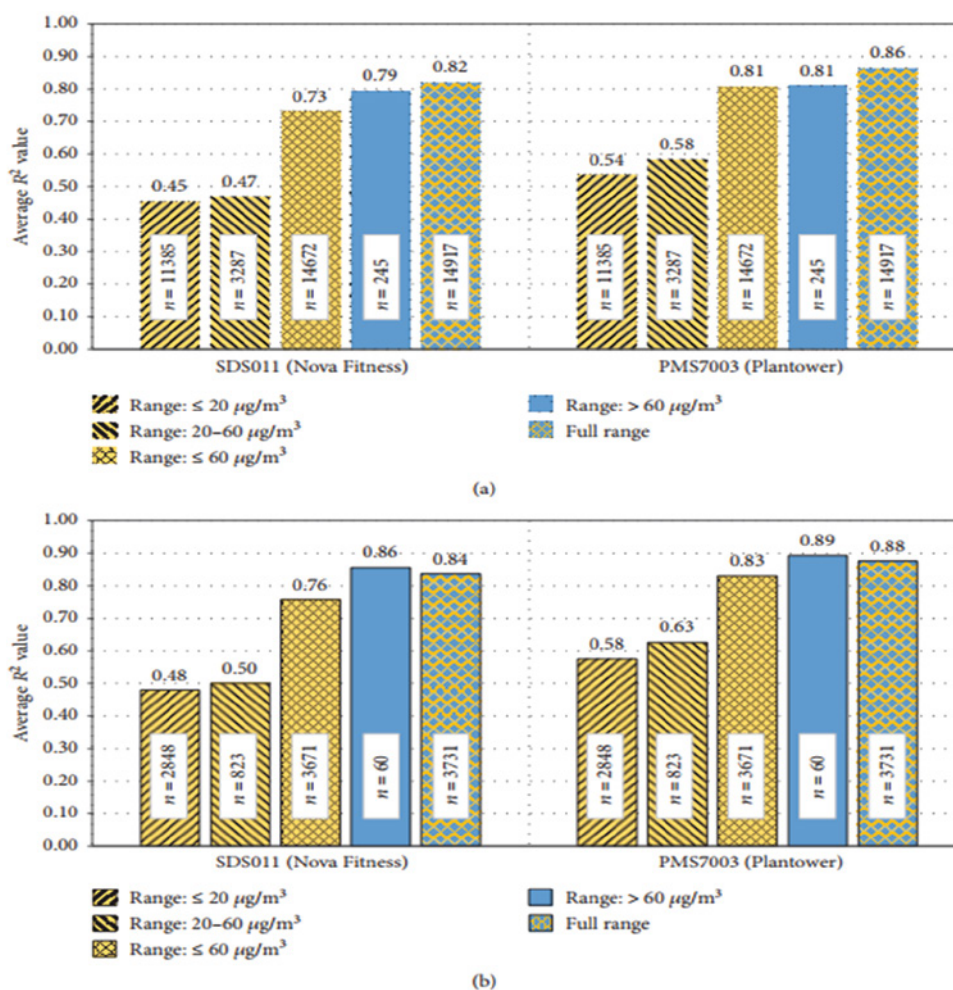
Hình 6: Tương quan độ ẩm và kết quả đo PM_{2.5} của cảm biến CairClip (Trung bình 5 phút). Tất cả kết quả đo PM_{2.5} ở điều kiện độ ẩm >95% cần được loại bỏ.

động của nhiệt độ, độ ẩm đến nồng độ LCS thông qua biểu đồ phân tán. Trong các biểu đồ phân tán này, các giá trị đo của LCS được xem là biến phụ thuộc (y) còn các giá trị nhiệt độ, độ ẩm tương đối được xem là biến độc lập (x). Để việc đánh giá hiệu quả hơn, trong các biểu đồ phân tán, có thể sử dụng biến phụ thuộc là giá trị nồng độ chuẩn hóa (tỉ số giữa nồng độ đo bằng LCS và đo bằng thiết bị tham chiếu) hay sự chênh lệch/giá trị tuyệt đối của sự chênh lệch giữa kết quả đo của LCS và thiết bị tham chiếu.

Thực tế trong quá trình đánh giá có thể gặp khó khăn khi trong thời gian quan trắc, số liệu có thể không phản ánh rõ được quy luật của sự thay đổi nhiệt độ, độ ẩm. Ví dụ, thời gian khảo sát không có giai đoạn nhiệt độ quá cao hoặc quá thấp, độ ẩm cũng không có giá trị đủ để gây ảnh hưởng đến kết quả dữ liệu, như vậy, các số liệu ở phần này sẽ thiếu. Trường hợp này độ dày của dữ liệu không đủ để có thể đưa ra được kết luận chặt chẽ về mối liên quan giữa nhiệt độ, độ ẩm với các giá trị đo được của cảm biến.

4.7. Đánh giá khoảng đo (measurement range)

Các hãng sản xuất LCS đều đưa ra khoảng đo của thiết bị. Tuy nhiên, họ thường cho khoảng đo rộng trong khi nồng độ các chất ô nhiễm khi đo trong thực tế thường là hẹp hơn. Chính vì vậy, tùy vào mục tiêu quan trắc và nồng độ chất ô nhiễm dự đoán trong khoảng nào thì sẽ đánh giá khoảng đo phù hợp với yêu cầu của dữ liệu. Đánh giá khoảng đo của thiết bị nhằm xem xét cảm biến sẽ cho giá trị tin cậy trong những khoảng đo nhất định nào. Việc đánh giá các khoảng đo dựa vào các tiêu chí: độ chụm, độ tuyến tính, độ chệch, sai số cho các khoảng nồng độ khác nhau. Hình 4.4 thể hiện giá trị R^2 của đường tuyến tính theo các khoảng đo khác nhau. Có thể thấy ở khoảng nồng độ bụi $\leq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và $20-60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, giá trị R^2 thấp hơn hẳn so với khoảng nồng độ bụi lớn hơn, có nghĩa là ở khoảng nồng độ bụi thấp, kết quả của LCS và thiết bị tham chiếu có mức độ tương đồng thấp.



Hình 7: Hệ số tương quan đối với 2 LCS ở các khoảng nồng độ (range) khác nhau. a) Trung bình 15 phút và b) trung bình 1 giờ, n là số lần dữ liệu đo [35]

4.8. Đánh giá độ trôi (drift)

Độ trôi là thông số thể hiện độ ổn định của số liệu đo bởi LCS theo thời gian. Khi tín hiệu của LCS bị suy giảm theo thời gian, dẫn đến giá trị đo bị sai lệch. Sự sai lệch có thể là sai lệch âm hoặc sai lệch dương và do nhiều nguyên nhân. Ví dụ: cảm biến có thể sai lệch do những thay đổi của điều kiện thời tiết, hoặc trong trường hợp các LCS đo theo nguyên lý quang học, nguồn sáng sẽ yếu đi hoặc tín hiệu đo sẽ giảm dần theo thời gian.

Việc đánh giá độ trôi cũng là một tiêu chí để xem xét tần suất hiệu chuẩn LCS cần thi. Để đánh giá độ trôi từ dữ liệu đo đặc tại hiện trường, có thể khảo sát mức độ sai lệch giữa kết quả đo của LCS với kết quả đo của thiết bị tham chiếu theo thời gian. Việc đánh giá nâng cao đối với hoạt động của LCS có thể được thực hiện ở phòng thí nghiệm được trang bị đầy đủ trang thiết bị. Quy trình đánh giá nâng cao được mô tả chi tiết trong tài liệu của US EPA [36].

Bảng 3: Tóm tắt các thông số dùng để đánh giá hoạt động của LCS và giá trị mục tiêu đề xuất tham khảo từ khuyến nghị của US EPA [36]

TT	Thông số đánh giá		Giá trị mục tiêu
1	Độ đầy đủ của bộ dữ liệu (Data completeness)		Đạt được $\geq 75\%$ trong khoảng thời gian đánh giá
2	Độ chụm (Precision)	Độ lệch chuẩn (SD)	$\leq 5\mu\text{g}/\text{m}^3$
		hoặc hệ số biến động (CV)	$\leq 30\%$
3	Độ chệch (Bias) (*)	Độ dốc	$1,0 \pm 0,35$
		Đoạn chắn (b)	$-5 \leq b \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
4	Độ tuyến tính (Linearity)	Hệ số tương quan (R^2)	$R^2 \geq 0,70$
5	Sai số (**)	Sai số căn quân phương (RMSE)	$\text{RMSE} \leq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$
		hoặc Sai số căn quân phương được chuẩn hóa (NRMSE)	$\text{NRMSE} \leq 30\%$

(*) Xét trên toàn bộ số liệu

(**) LCS sẽ đáp ứng mục tiêu về sai số nếu RMSE hoặc NRMSE đáp ứng yêu cầu.

5.

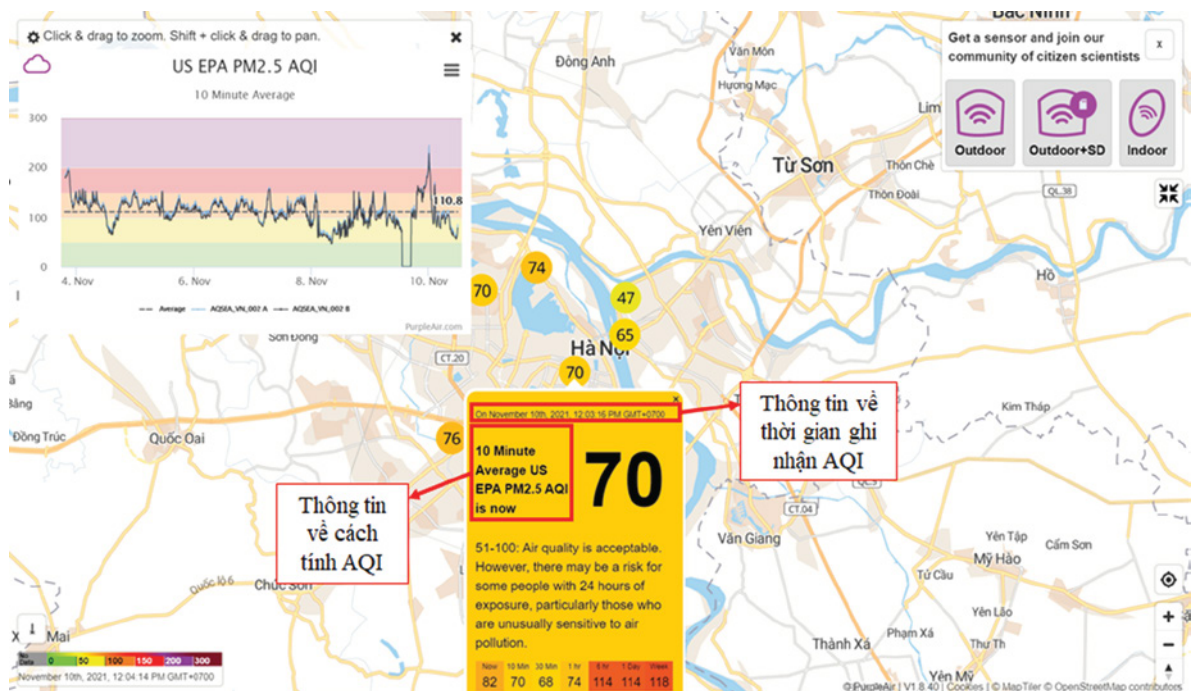
**Chia sẻ
thông tin từ
thiết bị
cảm biến
đo $PM_{2.5}$
giá thành
thấp**

Dữ liệu từ LCS có thể được chia sẻ theo nhiều cách khác nhau: thông qua các trang web cung cấp thông tin mạng lưới điểm đo LCS (như IQAir AirVisual, PurpleAir, PAM Air, AirNet...), thông qua ứng dụng điện thoại (mobile app) của các đơn vị phát triển LCS, hay được các cá nhân có sẵn dữ liệu LCS chia sẻ với cộng đồng thông qua mạng xã hội, v.v.

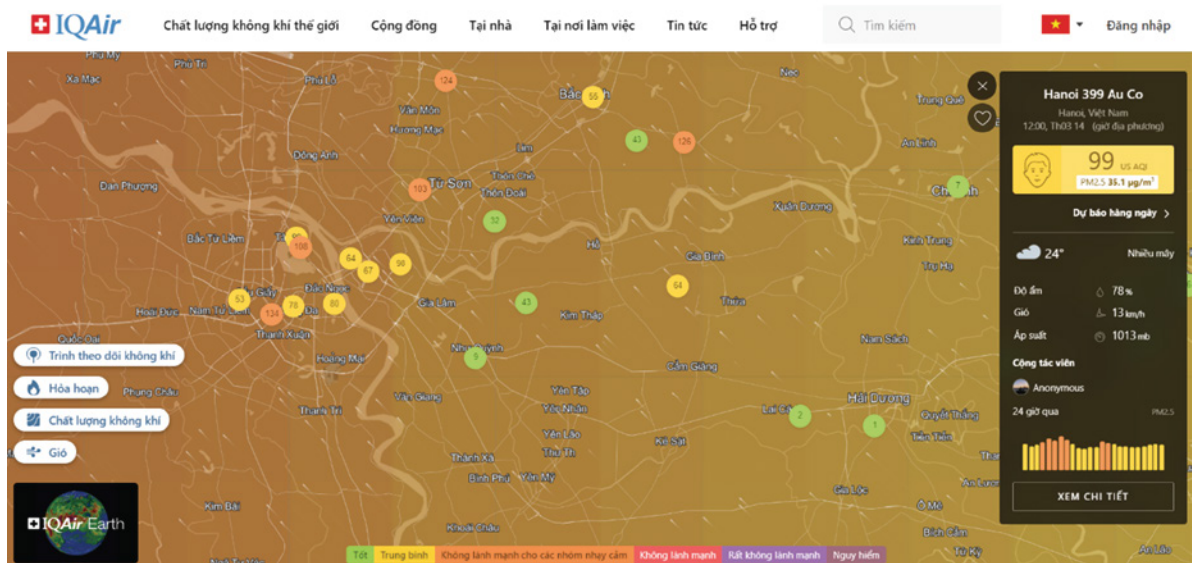
Trên thế giới, có rất nhiều trang web hỗ trợ chia sẻ dữ liệu CLKK theo thời gian thực, có thể kể đến các trang nổi bật như: PurpleAir

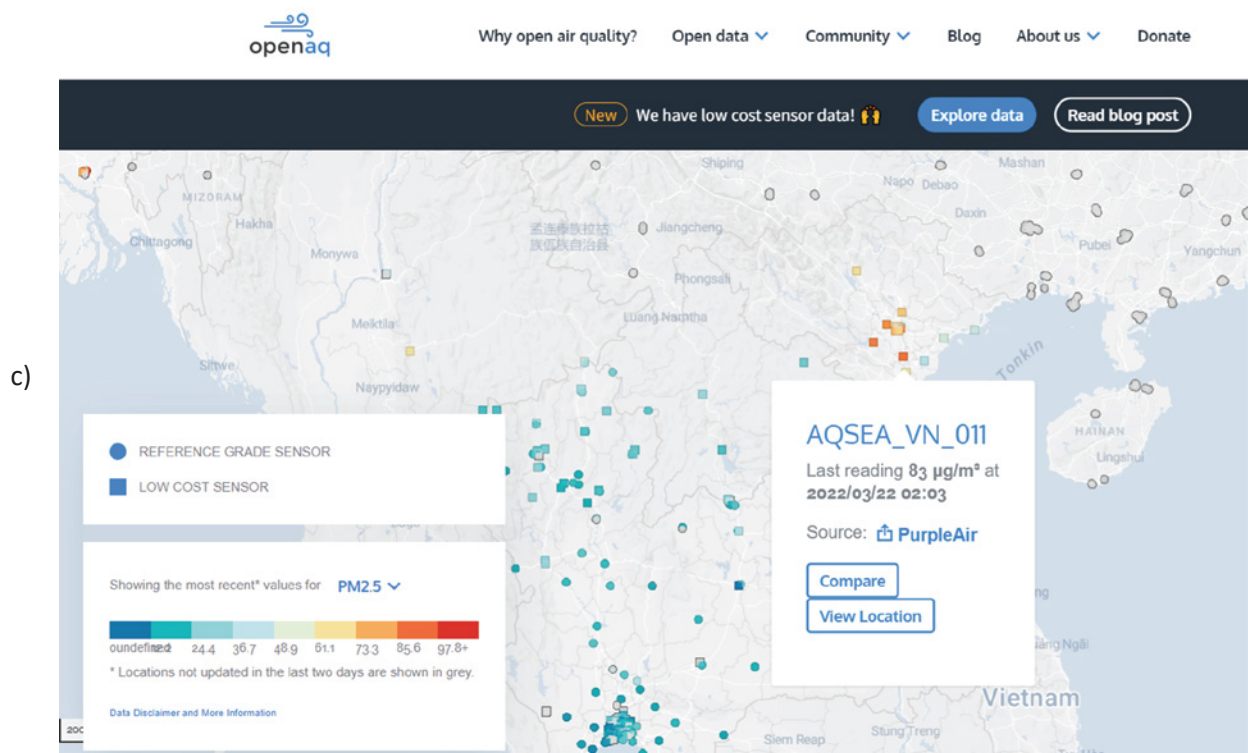
(<https://map.purpleair.com/>), IQAir Airvisual (<https://www.iqair.com>), OpenAQ (<https://openaq.org/#/map>), BreezoMeter (<https://www.breezometer.com/>), Clarity ... Trên giao diện website, các thông tin như: bản đồ khu vực, cách tính chỉ số chất lượng không khí (Air Quality Index – AQI), thời gian và địa điểm ghi nhận AQI, khuyến nghị cho người dùng được hiển thị rõ ràng và ngắn gọn. Mỗi điểm đo có thêm bảng dữ liệu biểu diễn xu hướng nồng độ bụi PM_{2.5} ghi nhận trong một khoảng thời gian nhất định (xem thêm một số ví dụ tại hình 5.1).

a)



b)





Hình 8: Mô tả thông tin hiển thị trên trang web của PurpleAir (a), IQAir AirVisual (b) và OpenAQ (c)

Khi chia sẻ dữ liệu từ LCS, nên đưa ra mục tiêu quan trắc và các thông tin, đặc điểm của LCS đang sử dụng. Việc này sẽ giúp người tiếp nhận thông tin hiểu đúng và sử dụng dữ liệu hiệu quả hơn. Cụ thể:

1. Nêu rõ mục tiêu quan trắc là phục vụ nghiên cứu, quan trắc tiếp xúc cá nhân, bổ sung số liệu cho hệ thống quan trắc đang có, nhận dạng và xác định đặc tính nguồn, giáo dục, hay phổ biến thông tin/nâng cao nhận thức. Mỗi mục tiêu quan trắc khác nhau sẽ tương ứng với yêu cầu về chất lượng dữ liệu khác nhau.

2. Mô tả vị trí đặt thiết bị đo, phương pháp đo, độ chính xác của thiết bị, và quy trình đảm bảo và kiểm soát chất lượng, cụ thể:

- **Vị trí đặt thiết bị:** Thông tin về vị trí đặt thiết bị cần được chia sẻ để giúp người đọc có thể xác định sơ bộ xem chất lượng không khí tại điểm đo này có thể bị ảnh hưởng bởi nguồn thải chất ô nhiễm điển hình nào không (chẳng hạn như nguồn giao thông, đun nấu dân sinh hoặc thương mại...).

- **Phương pháp đo và độ chính xác của thiết bị/giới hạn báo cáo của phương pháp:** các đơn vị phát triển và vận hành mạng lưới LCS nên chia sẻ về phương pháp sử dụng (như tán xạ ánh sáng...) và các nguyên lý cơ bản được dùng để xử lý và hiệu chuẩn dữ liệu của LCS (nếu có). Theo WMO, các thông tin này nên được cung cấp rõ ràng, đặc biệt là tên của thiết bị tham chiếu hoặc mô hình/công thức được sử dụng để xử lý số liệu. Đây là một thực hành tốt để tăng cường minh bạch về phương pháp luận để người dùng đánh giá chất lượng dữ liệu. Ví dụ: Thông tin về hệ số chuyển đổi (conversion factor) của cảm biến của PurpleAir khi đo bụi $PM_{2.5}$ phát sinh từ các đám cháy³⁰ (do US EPA thiết lập riêng cho cảm biến này) được công bố công khai trên cả trang web của PurpleAir và US EPA. Đồng thời, khuyến khích chia sẻ về độ chính xác của thiết bị cũng như một số các đặc điểm kỹ thuật của thiết bị như kết quả đánh giá LCS trong phòng thí nghiệm so với đánh giá tại hiện trường, thông tin về tuổi thọ của

30 Tham khảo thêm tài liệu: PurpleAir $PM_{2.5}$ U.S. Correction and Performance During Smoke Events 4/2020

cảm biến và mức độ suy giảm chất lượng dữ liệu theo thời gian. Tham khảo cách báo cáo kết quả đánh giá LCS trong phòng thí nghiệm của AQ-SPEC (Trung tâm đánh giá vận hành của LCS, Mỹ) trong hình 6.1.

- **Thông tin về đảm bảo và kiểm soát chất lượng (QA/QC):** Các thông tin về QA/QC rất cần thiết cho người dùng dữ liệu, đặc biệt là nhóm nghiên cứu, để có cơ sở đánh giá về chất lượng dữ liệu khi phân tích hiện trạng và xu hướng, đặc điểm của ONKK mà sử dụng dữ liệu từ thiết bị LCS.

3. Cung cấp một số diễn giải về dữ liệu. Mỗi loại LCS có cách hiển thị dữ liệu đo khác nhau (thông qua AQI, hiển thị trực tiếp nồng độ bụi PM_{2.5}, hiển thị bằng màu sắc với quy định riêng, v.v) tùy theo thiết kế và mục tiêu của nhà sản xuất. Người chia sẻ dữ liệu từ LCS cần lựa chọn cách diễn giải dữ liệu phù hợp với từng hình thức hiển thị. Nếu LCS hiển thị số liệu đo qua chỉ số AQI thì cần cung cấp thêm các thông tin liên quan như: phương pháp tính AQI (theo AQI của Việt Nam hay quốc gia nào), tần suất dữ liệu, địa điểm đặt LCS và thời điểm ghi nhận AQI (Xem thêm phụ lục E)³¹.

Do dữ liệu của LCS có độ sai số nhất định, do đó khi chia sẻ dữ liệu từ LCS, thay vì giá trị đo tuyệt đối, nên tập trung vào những thay đổi tương đối của dữ liệu (mức tăng, giảm, diễn biến, xu hướng). Đồng thời, nên sử dụng biểu đồ, hình ảnh và các cách trực quan

hóa dữ liệu khác để dữ liệu từ LCS trở nên sinh động hơn, giúp hiểu nhanh hơn, rõ ràng hơn về chất lượng không khí.

Lưu ý: Việc ứng dụng LCS cho giám sát CLKK với các mục tiêu dữ liệu khác nhau đang trở thành xu thế trên thế giới và tại Việt Nam, tuy nhiên vẫn còn nhiều quan điểm, nhận định khác nhau xoay quanh dữ liệu từ LCS. Chẳng hạn, với một số nhóm người dùng, dữ liệu LCS đủ chính xác và có thể sử dụng cho quan trắc bổ sung. Với nhóm khác, dữ liệu LCS có độ tin cậy không cao vì dễ bị ảnh hưởng bởi các điều kiện bên ngoài, không được thường xuyên hiệu chuẩn, hiệu chỉnh. Do đó, với các cá nhân, tổ chức không có nhiều chuyên môn về LCS, chúng tôi khuyến nghị nên tìm hiểu kỹ các thông tin liên quan trước khi đưa tin hay viết bài mà sử dụng dữ liệu từ LCS. Tham khảo thêm các tài liệu hướng dẫn của US EPA, WMO^{32,33}.

Trường hợp điển hình: PurpleAir là một đơn vị tư nhân của Mỹ vừa sản xuất và thương mại hóa LCS, vừa vận hành mạng lưới điểm đo trên khắp thế giới. Trên website của mình, PurpleAir cung cấp và công khai các thông tin về thiết bị, bao gồm: tên của cảm biến, khoảng đo, hiệu quả đếm hạt, khoảng nồng độ PM_{2.5} để cảm biến hoạt động hiệu quả, nồng độ tối đa có thể đo được, thời gian phản hồi của cảm biến, mức độ lỗi tối đa (maximum consistency error), kích thước vật lý, yêu cầu về điện, yêu cầu kết nối không dây, khả năng sử dụng (đo CLKK trong nhà hay ngoài trời (chi tiết như hình dưới)... US EPA cũng đã thử nghiệm việc tích hợp dữ liệu từ LCS của PurpleAir vào bản đồ các đám cháy trên toàn quốc (Fire and Smoke Map).

Laser Particle Counters	
Class 1 Laser. A Class 1 laser is safe under all conditions of normal use.	
Type	(2) PMS5003
Range of measurement	0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, & 10 µm
Counting efficiency	50% at 0.3µm & 98% at ≥0.5µm
Effective range (PM2.5 standard)*	0 to 500 µg/m³
Maximum range (PM2.5 standard)*	≥1000 µg/m³
Maximum consistency error (PM2.5 standard)	±10% at 100 to 500µg/m³ & ±10µg/m³ at 0 to 100µg/m³
Standard Volume	0.1 Litre
Single response time	≤1 second
Total response time	≤10 seconds

Pressure, Temperature, & Humidity Sensor	
Type	BME280
Temperature range	-40°F to 185°F (-40°C to 85°C)
Pressure range	300 to 1100 hPa
Humidity	Response time (t63%): 1 s Accuracy tolerance: ±3% RH Hysteresis: ≤2% RH

Hình 9: Các thông tin kỹ thuật của LCS được PurpleAir đăng lên website

31 Tham khảo thêm tài liệu: Lưu ý truyền thông về Chỉ số chất lượng không khí (AQI)

32 Tham khảo thêm tài liệu: Communicating Uncertainty and Risk in Air Quality Maps

33 Tham khảo thêm tài liệu: An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition

A large teal geometric shape, resembling a stylized arrow or a corner of a page, pointing towards the right. It has a white number '6.' inside it.

6.

**Một số lưu ý
và khuyến nghị**

Dựa trên tổng hợp nghiên cứu, khuyến nghị quốc tế và chương trình đánh giá vận hành cho các LCS tại Việt Nam (năm 2021), các lưu ý và khuyến nghị dưới đây được đưa ra dành cho các nhóm đối tượng từ phát triển tới ứng dụng LCS, đặc biệt là để cải thiện chất lượng dữ liệu của LCS cho các ứng dụng khác nhau và hiểu về LCS và dữ liệu LCS.

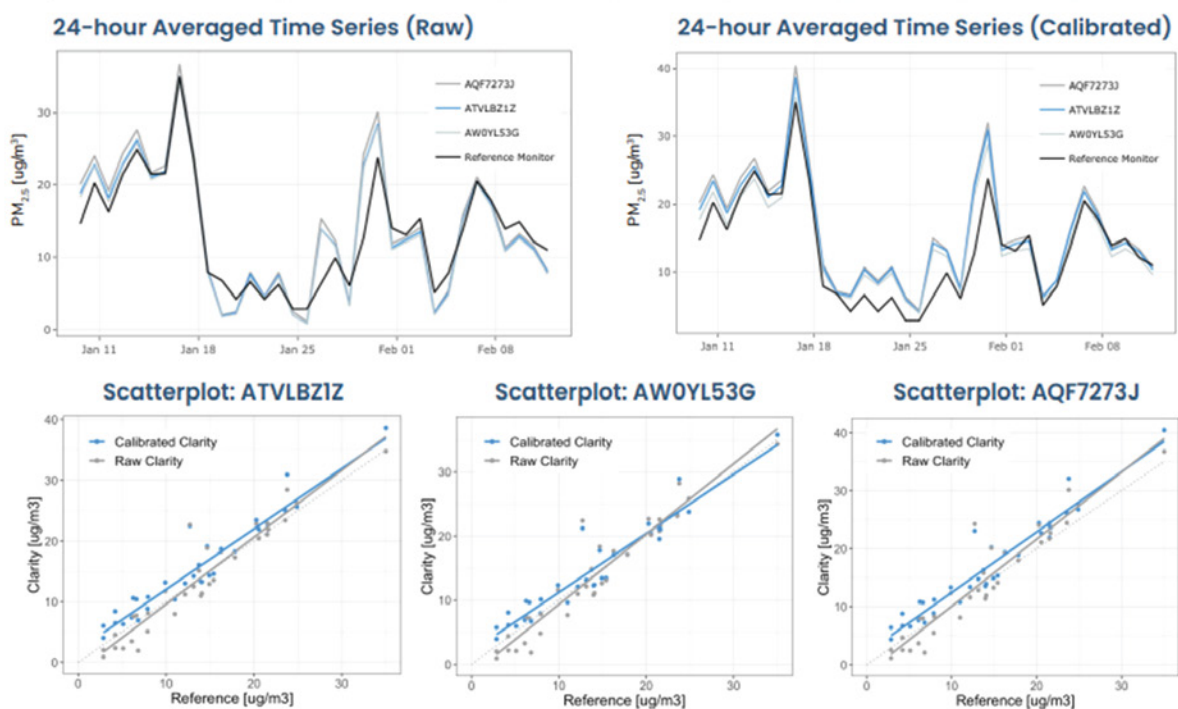
6.1. Đối với các nhà sản xuất và vận hành hệ thống LCS

Các đơn vị phát triển và vận hành mạng lưới LCS được khuyến khích cải thiện chất lượng dữ liệu từ LCS đồng thời cung cấp các thông tin liên quan cho

người dùng LCS và dữ liệu từ LCS. Trong tờ hướng dẫn sử dụng LCS, khuyến khích đưa thêm các thông tin kỹ thuật cho người dùng như: Khuyến nghị về việc theo dõi thiết bị trong thời gian đầu và có thể không sử dụng số liệu trong một vài ngày đầu sau khi lắp đặt; Ghi chú về thời gian biểu diễn số liệu (theo khung thời gian nào, thời điểm đầu hay cuối của khoảng trung bình thời gian đo); Lưu ý về khả năng số liệu đo bị ảnh hưởng sau khi vận chuyển, di chuyển; Lưu ý về khả năng bị thiết bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường, côn trùng v.v; Hướng dẫn cách bảo dưỡng thiết bị đo; Khuyến nghị với người sử dụng về việc các thiết bị đo khác nhau của cùng một model có thể cho ra kết quả đo khác nhau.

The dataset used for these plots is from three Clarity devices located in Phoenix, Arizona, with data collected from January 9, 2021, to February 11, 2021. The daily average concentrations observed by the reference monitors range from 2.86 to 35.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Calibrations were applied January 8th, 2021.

	EPA Recommendations	Raw			Calibrated		
		AW0YL53G	AQF7273J	ATVLB21Z	AW0YL53G	AQF7273J	ATVLB21Z
Slope (m) of $y=mx+b$	1.0 ± 0.35	1.00	1.05	1.01	.85	.96	.92
Intercept (b) of $y=mx+b$	$-5 \leq b \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1.00	0.43	0.29	3.32	3.51	3.44
R^2	≥ 0.70	0.82	0.81	0.83	.85	.85	.85
RMSE	$\leq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3.60	4.10	3.62	3.31	4.30	3.86
NRMSE	$\leq 30\%$	16%	18%	16%	23%	24%	29%



Hình 10: Thông tin đánh giá LCS do Clarity đăng tải trên web và tài liệu

Các nhà sản xuất LCS nên kiểm tra mức độ suy giảm tín hiệu theo thời gian và khắc phục hiện tượng tín hiệu đo bị suy giảm theo thời gian, đồng thời thực hiện hiệu chuẩn định kỳ cho thiết bị, và công bố, chia sẻ thông tin này tới người dùng.

Nhằm nâng cao khả năng áp dụng của LCS, từ tổng hợp kinh nghiệm từ nhiều quốc gia, chúng tôi khuyến nghị đối với các LCS trích xuất dữ liệu qua trang web tới người dùng, hoặc cung cấp tài khoản riêng cho người dùng. Trang web này nên tích hợp sẵn một số tính năng biểu diễn số liệu theo các khung thời gian khác nhau cũng như các tính năng phân tích số liệu cơ bản.

6.2. Đối với cá nhân sử dụng LCS

Trước khi lựa chọn LCS, người sử dụng LCS nên xác định rõ mục tiêu quan trắc. Việc xác định mục tiêu rất quan trọng vì sẽ góp phần đưa ra quyết định cho các hoạt động tiếp theo như lựa chọn vị trí quan trắc, chọn thời gian đo, v.v. Tài liệu này đã đưa ra các ứng dụng phổ biến của LCS (phần 1.3.3), một số ví dụ về việc chọn vị trí và thời gian đo (mục 3.1), cũng như các mức chất lượng cần đạt đối với dữ liệu từ LCS tương ứng với mỗi mục tiêu khác nhau. Người dùng có thể tham khảo thêm các nghiên cứu, chương trình và hoạt động có ứng dụng của LCS tại Việt Nam và trên toàn thế giới tại Phụ lục A.

Người dùng nên đánh giá hiệu quả hoạt động của LCS trong các điều kiện môi trường thực tế trước khi sử dụng (mục 3.2.2), lý tưởng nhất là đối chiếu gần, sử dụng thiết bị tham chiếu. LCS có thể đã được hiệu chỉnh ở giai đoạn sản xuất, nhưng các số liệu này chỉ cho biết khả năng vận hành của LCS ở mức cơ sở. Nếu chương trình quan trắc kéo dài và nguồn lực cho phép, người dùng LCS nên đánh giá LCS liên tục để đảm bảo chất lượng dữ liệu (xem chi tiết tại Phần 4 và Phụ lục B). Đối với những người dùng không có chuyên môn về hiệu chỉnh LCS, cần tham khảo ý kiến của các chuyên gia liên quan để có thêm thông tin và kết quả đáng tin cậy hơn. Các thông tin và kết quả về đánh giá vận hành LCS nên được chia sẻ một cách minh bạch cho các bên liên quan (nếu có).

6.3. Đối với cơ quan quản lý

Các thiết bị LCS có thể góp phần cung cấp thêm thông tin tham khảo về CLKK, đặc biệt là ở những nơi chưa có trạm quan trắc của cơ quan quản lý nhà nước và đáp ứng nhu cầu “biết” của công dân về chất lượng môi trường không khí nơi mình sinh sống, hay các mục tiêu về giáo dục, nghiên cứu, và khoa học công dân. Cơ quan quản lý về môi trường không khí cũng xem xét đưa ra các hướng dẫn về sử dụng LCS, đồng thời hướng dẫn cho người dân hiểu về các giá trị đo từ các hệ thống quan trắc khác nhau. (Tham khảo kinh nghiệm của US EPA, cơ quan quản lý môi trường tại châu Âu hay các nước trong khu vực như Đài Loan, Ấn Độ...)

Hiện nay, LCS có hạn chế là độ chính xác và độ tin cậy có thể suy giảm qua qua thời gian sử dụng. Một phần nguyên nhân là do thiếu các hoạt động đảm bảo và kiểm soát chất lượng. Một nguyên nhân khác là do thiếu các thiết bị tham chiếu cũng như khả năng tiếp cận với các thiết bị này; hay chưa có các chương trình/dịch vụ hiệu chuẩn các LCS. Cơ quan quản lý về môi trường không khí nên xây dựng cơ chế/chương trình cho phép LCS tham chiếu với các thiết bị tiêu chuẩn sẵn có trong mạng lưới trạm quan trắc quốc gia. Việc này sẽ giúp các đơn vị sản xuất và vận hành mạng lưới cảm biến có thể nâng cao chất lượng dữ liệu và hỗ trợ các vùng thiếu dữ liệu về CLKK, cũng như thúc đẩy đổi mới công nghệ từ các đơn vị cung cấp và vận hành LCS trong nước.

6.4 Đối với các bên có chuyên môn về môi trường sử dụng LCS

Các đơn vị thực hiện việc đánh giá LCS hoặc các trường/viện nghiên cứu có chuyên môn liên quan đến LCS có thể chia sẻ kiến thức, phương pháp và các lưu ý khi ứng dụng LCS với các bên khác để hỗ trợ người dùng/phát triển LCS, chẳng hạn như nâng cao chất lượng dữ liệu, xử lý dữ liệu LCS... Việc chia sẻ các kiến thức như phương pháp đánh giá, các biến trong môi trường đo đạc cũng là điều cần thiết để người dùng tại các địa phương (đặc biệt là nhóm không có chuyên môn) có thể thực hiện hiệu chuẩn nếu muốn ứng dụng LCS. Các nhóm có chuyên môn có thể đưa ra các thực hành tốt để cộng đồng tham khảo và sử dụng LCS đúng cách.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ron Williams and Vasu Kilaru, Emily Snyder, Amanda Kaufman (2014), *Air Sensor Guidebook*, EPA EPA/600/R-14/159 June 2014.
2. Barbara J Turpin, Clifford P Weisel, Maria Morandi, Steven Colome, Thomas Stock, Steven Eisenreich, Brian Buckley, and Others, *Relationships of Indoor, Outdoor, and Personal Air (RIOPA) Part II: Analyses of Concentrations of Particulate Matter Species*, Research Report 130. Health Effects Institute, Boston MA (2007). <https://www.healtheffects.org/system/files/RIOPA-Part2-SAS.pdf>
3. Health topics, Air Pollution and health, WHO. <https://www.who.int/airpollution/en/>
4. WHO (2014), *Seven million premature deaths annually linked to air pollution*. <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
5. HUPH, VNU-UET, Live&Learn & USAID (2021). Tác động Ô nhiễm không khí do bụi PM_{2.5} đến sức khỏe cộng đồng tại Hà Nội năm 2019. Báo cáo được phối hợp thực hiện bởi Trường Đại học Y tế Công cộng (HUPH), Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU-UET), Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) và Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID).
6. Vu Hoang Ngoc Khue, Quang Phuc Ha, Duc Hiep Nguyen, Thi Thu Thuy Nguyen, Thoai Tam Nguyen, Thi Thuy Hang Nguyen, Ngoc Dang Tran, Bang Quoc Ho (2020). *Poor Air Quality and Its Association with Mortality in Ho Chi Minh City: Case Study*. *Atmosphere*, 11(7): 750.
7. Australia EPA, *EPA's air monitoring network*, Environmental Protection Authority Victoria, Australia. <https://www.epa.vic.gov.au/our-work/monitoring-the-environment/monitoring-victorias-air/how-epa-monitors-victorias-air/epa-air-monitoring-network>.
8. Heinisch RL, Bronold FX, Fehske H (2012). *Mie scattering by a charged dielectric particle*. *Physical Review Letters*, 109(24): 6380–6383
9. Karoline K. Johnson, Michael H. Bergin, Armistead G. Russell, Gayle S. W. Hagler. (2016). *Using Low Cost Sensors to Measure Ambient Particulate Matter Concentrations and On-Road Emissions Factors*. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* [preprint]. DOI: 10.5194/amt-2015-331.
10. Delvina Sinaga, Wiwiek Setyawati, Fang Yi Cheng & Shih-Chun Candice Lung (2020). *Investigation on daily exposure to PM_{2.5} in Bandung city, Indonesia using low-cost sensor*. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 30:1001–1012.

11. Yang Wang, Jiayu Li, He Jing, Qiang Zhang, Jingkun Jiang & Pratim Biswas (2015). *Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement. Aerosol Science and Technology*, 49(11): 1063-1077
12. Erick Frederico Kill Aguiar, Henrique Llacer Roig, Luís Henrique Mancini, Eduardo Neiva Caetano Botelho de Carvalho (2015). *Low-Cost Sensors Calibration for Monitoring Air Quality in the Federal District – Brazil. Journal of Environmental Protection*, 6: 173-189
13. Bich-Thuy Ly, Yutaka Matsumi, Tuan V. Vu. Kazuhiko Sekiguchi, Thu-Thuy Nguyen, Chau-Thuy Pham, Trung-Dung Nghiem, Ich-Hung Ngo, Yuta Kurotsuchi, Thu-Hien Nguyen, Tomoki Nakayama (2021). *The effects of meteorological conditions and long-range transport on PM_{2.5} levels in Hanoi revealed from multi-site measurement using compact sensors and machine learning approach. Journal of Aerosol Science*, 152: 10576.
14. Nguyen Ky Phung, Nguyen Quang Long, Nguyen Van Tin, Dang Thi Thanh Le (2020). *Development of a PM_{2.5} Forecasting System Integrating Low-cost Sensors for Ho Chi Minh City, Vietnam. Aerosol Air Qual. Res.*, 20: 1454–1468
15. Chi Doan Thien Nguyen and Hien Thi To (2019). *Evaluating the applicability of a low-cost sensor for measuring PM_{2.5} concentration in Ho Chi Minh city, Viet Nam. Science and Technology Development Journal*, 22(3): 343-347
16. VNU-UET, Live&Learn & USAID (2021). *Hiện trạng bụi PM_{2.5} tại Việt Nam giai đoạn 2019-2020 sử dụng dữ liệu đa nguồn. Báo cáo được phối hợp thực hiện bởi Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU-UET), Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn) và Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID).*
17. Robert A. Chaney, Chantel D. Sloan, Victoria C. Cooper, Daniel R. Robinson, Nathan R. Hendrickson, Tyler A. McCord, James D. Johnston (2017). *Personal exposure to fine particulate air pollution while commuting: An examination of six transport modes on an urban arterial roadway. PLoS ONE*, 12(11): e0188053.
18. Shih-Chun Candice Lung, Ming-Chien Mark Tsou, Shu-Chuan Hu, Yu-Hui Hsieh, Wen-Cheng Vincent Wang, Chen-Kai Shui, Chee-Hong Tan (2020). *Concurrent assessment of personal, indoor, and outdoor PM_{2.5} and PM₁ levels and source contributions using novel low-cost sensing devices. International Journal of Indoor Environment and Health*, 31(3): 755-768
19. Vo Thi Le Ha, Van Dieu Anh, Bich Thuy Ly, Nguyen Thi Thu Hien, Dang Viet Lam, Le Thanh Thuy, Nghiem Trung Dung (2020). *Study on the health impact from beehive coal stove usage in households in Hoan Kiem, Hanoi. Vietnam Journal of Science and Technology*, 58(3A): 222-229
20. Naser Hossein Motlagh, Martha Arbayani Zaidan, Eemil Lagerspetz, Samu Varjonen, Juhani Toivonen, Julien Mineraud, Andrew Rebeiro-Hargrave, Matti Siekkinen, Tareq Hussein, Petteri Nurmi, Sasu Tarkoma (2019). *MegaSense: Feasibility of Low-Cost Sensors for Pollution Hot-spot Detection. IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, p.1083-1090
21. Data-Driven Accurate Air Quality Monitoring, Inspection and Enforcement. Environment Defense Fund website. <https://www.globalcleanair.org/data-to-action/cangzhou-china/>. [Accessed]

22. Katrina Mỹ Quyên Lê, Anthony Butterfield, Kerry Kelly, Pierre-Emmanuel Gaillardon, Kyle Tingey, and Thomas Becnel (2018). *Chemical Engineering Education Journal*, 52(3)
23. T N T Nguyen, D V Ha, T N N Do, V H Nguyen, X T Ngo, V H Phan, N D Nguyen and Q H Bui (2019). *Air pollution monitoring network using low-cost sensors, a case study in Hanoi, Vietnam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 266: 012017
24. Sami Kaivonen, Edith C.-H. Ngai (2020). *Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus. Digital Communications and Networks*, 6(1): 23-30
25. World Meteorological Organization (2021). *An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10620
26. Noel de Nevers. *Air pollution control engineering. 2nd Edition. Waveland Press, Inc., Illinois, 2010.*
27. Nguyen Anh Dung, Le Van Quy, Le Ngoc Cau, Le Van Linh, Pham Thi Quynh (2019). *Application of Mobile Dust Monitoring System to Evaluate Dust Concentration in Several Streets of Hanoi City. Vietnam Journal of Hydrometeorology*, 2(1): 21-28
28. Ron Williams et al., 2014, *Evaluation of Field-deployed Low Cost PM Sensors*, US EPA/600/R-14/464 | December 2014 | www.epa.gov/ord
29. Chowdhury Z et al (2007). *An inexpensive light-scattering particle monitor: field validation. Journal of Environmental Monitoring*. 2007; 9:1099-1106.
30. S. Sousan et al., "Inter-comparison of low-cost sensors for measuring the mass concentration of occupational aerosols," *Aerosol Science and Technology*, vol. 50, no. 5, pp. 462–473, 2016.
31. S. Sousan, K. Koehler, L. Hallett, and T. M. Peters (2017). *Evaluation of consumer monitors to measure particulate matter. Journal of Aerosol Science*, 107: 123–133
32. Marek Badura, Piotr Batog, Anetta Drzeniecka-Osiadacz, and Piotr Modzel (2018). *Evaluation of Low-Cost Sensors for Ambient PM_{2.5} Monitoring. Hindawi Journal of Sensors*, Article ID 5096540
33. Bhabesh Chakrabarti, Philip M. Fine, Ralph Delfino, Constantinos Sioutas (2004). *Performance evaluation of the active-flow personal DataRam PM_{2.5} mass monitor (Thermo Andersen pDR-1200) designed for continuous personal exposure measurements. Atmospheric Environment*, 38:3329–3340
34. HUYNH Tan Loi, Sathita FAKPRAPAI, and Nguyen Thi Kim Oanh (2020). *Air Quality Monitoring with Focus on Wireless Sensor Application and Data Management. Chapter 2, in Book "TORUS 3 – Toward an Open Resource Using Services Cloud Computing for Environmental Data", Edited by D. Laffly. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-78630-599-2.*
35. Rachelle M. Duvall et al., *Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications, EPA/600/R-20/280 February 2021.*

36. Michael R. Giordano, Carl Malings, Spyros N. Pandis, Albert A. Presto, V.F. Mc Neill, Daniel M. Westervelt, Matthias Beekmann, R. Subramanian (2021). *From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors. Journal of Aerosol Science, 158: 105833*
37. Francesco Concas, Julien Mineraud, Eemil Lagerspetz, Samu Varjonen, Xiaoli Liu, Kai Puolamäki, Petteri Nurmi, and Sasu Tarkoma (2021). *Low-Cost Outdoor Air Quality Monitoring and Sensor Calibration: A Survey and Critical Analysis. ACM Trans. Sen. Netw., 17(2), Article 20*
38. Shi-Chun Candice Lung, Ming-Chien Mark Tsou, Shu-Chuan Hu, Yu-Hui Hseih, Wen-Cheng Vincent Wang, Chen-Kai Shui, Chee-Hong Tan (2020). *Concurrent assessment of personal, indoor, and outdoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} levels and source contributions using novel low-cost sensing devices. <https://doi.org/10.1111/ina.12763>*
39. Vo Thi Le Ha, Truong Thi Thanh, Dao Van Phuc, Nguyen Thi Thu Hang, Ly Bich Thuy (2021). *Personal exposure assessment of Fine particulate matter for commuters in Hanoi. DOI:10.34238/tnu-jst.3863*
40. Thi Hoa-Huyen Doan, Thi-Ly Ngo, Bich-Thuy Ly, Dieu-Anh Van, Thi-Thu Hien Nguyen (2022). *Applicability of GRIMM Devices in Co-location approach of Low-cost Sensor $PM_{2.5}$ Evaluation. eBook ISBN: 978-967-25791-1-3.*
41. World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO*
42. Bộ Tài nguyên Môi trường, 2013. *Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về Chất lượng Không khí Xung quanh theo Thông tư số 32/2013/TT-BTNMT ngày 25 tháng 10 năm 2013 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường.*

PHỤ LỤC A - VÍ DỤ ỨNG DỤNG LCS ĐO $PM_{2.5}$

A1. Ví dụ tham khảo cho chương trình đo theo mục tiêu 1 – Tìm hiểu, giáo dục và nâng cao nhận thức về CLKK

Theo dõi sự biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ khi nấu ăn

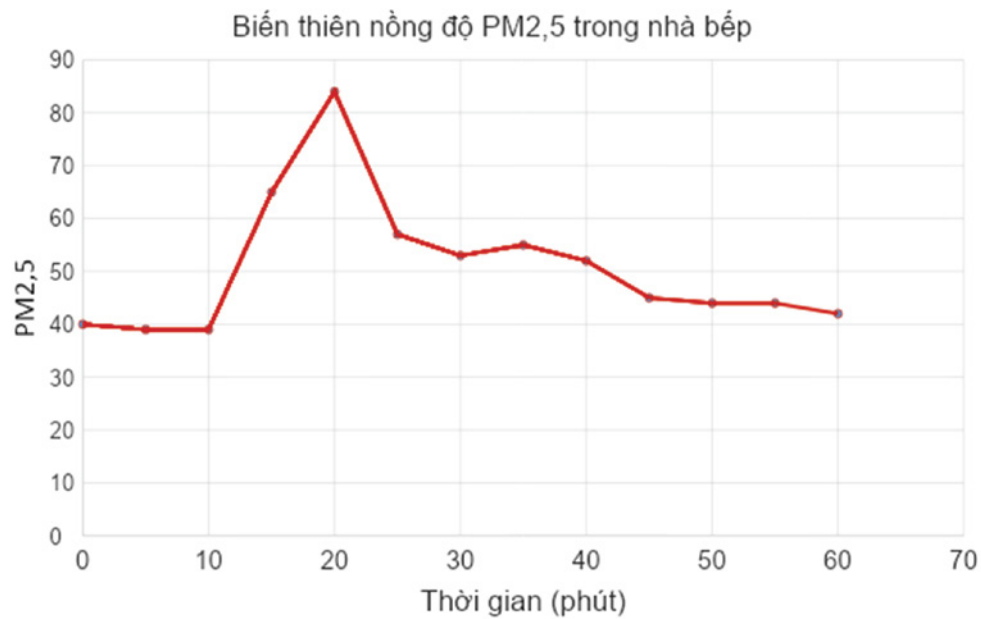
- Mục đích: Theo dõi sự thay đổi nồng độ bụi $PM_{2.5}$ khi nấu ăn.
- Thiết bị đo: máy đo AirSENSE (được thiết kế và sản xuất bởi SPARCLab³⁴)
- Đối tượng thực hiện: sinh viên đại học
- Xác định vị trí đo và điều kiện thí nghiệm:
 - Vị trí đo: Máy đo đặt trên cửa sổ, đặt phía trên bếp khoảng 50cm.
 - Điều kiện thông gió: Cửa sổ được đóng kín và nằm sát vách một căn nhà khác nên gần như không bị ảnh hưởng bởi nguồn $PM_{2.5}$ ngoài trời.
 - Bếp sử dụng là bếp từ, các món sẽ nấu là thịt xào và canh.
- Hình ảnh bố trí thí nghiệm:



³⁴ Signal Processing and Radio Communication Laboratory (SPARCLab) được thành lập từ năm 2013 tại trường Điện - Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà Nội, do TS. Hàn Huy Dũng hướng dẫn. Địa chỉ phòng Lab: Phòng 618 Thư viện Tạ Quang Bửu, Hà Nội

Bảng theo dõi thí nghiệm

Hoạt động	Thời gian (phút)	Nhiệt độ (°C)	Độ ẩm (%)	Ghi chú
10 phút trước nấu ăn	0	32	85	Không có hoạt động phát sinh bụi PM _{2.5} nào khác trong bếp
	5	32	84	
	10	32	85	
Xào thịt	15	32	85	- 10 phút đầu, bếp bật ở chế độ liên tục - 10 phút sau: Bếp bật ở chế độ gián đoạn: 2s chạy – 8s nghỉ
	20	32	87	
	25	33	85	
	30	33	84	
Nấu canh	35	33	88	Bếp bật ở chế độ liên tục trong suốt quá trình nấu canh
	40	33	88	
	45	33	87	
10 phút sau nấu ăn	50	32	87	Không có hoạt động phát sinh bụi PM _{2.5} nào khác trong bếp
	55	32	87	
	60	32	87	



Biểu đồ biến thiên nồng độ PM_{2.5} trong thời gian nấu ăn

Nhận xét:

- Nồng độ bụi $PM_{2.5}$ tăng vọt trong quá trình xào thịt và giảm dần khi nấu canh. Như vậy: Hoạt động xào rán có sử dụng dầu ăn phát sinh nhiều bụi $PM_{2.5}$ hơn hoạt động nấu, luộc.
- Nhà bếp nên lắp đặt các thiết bị thông gió hoặc mở cửa thông thoáng để giảm nồng độ $PM_{2.5}$ phát sinh từ đun nấu.

Ví dụ 1 - Một điểm đo chất lượng không khí nền đô thị (nồng độ được đóng góp bởi các nguồn trong đô thị nhưng không bị ảnh hưởng bởi một nguồn chủ đạo nào)

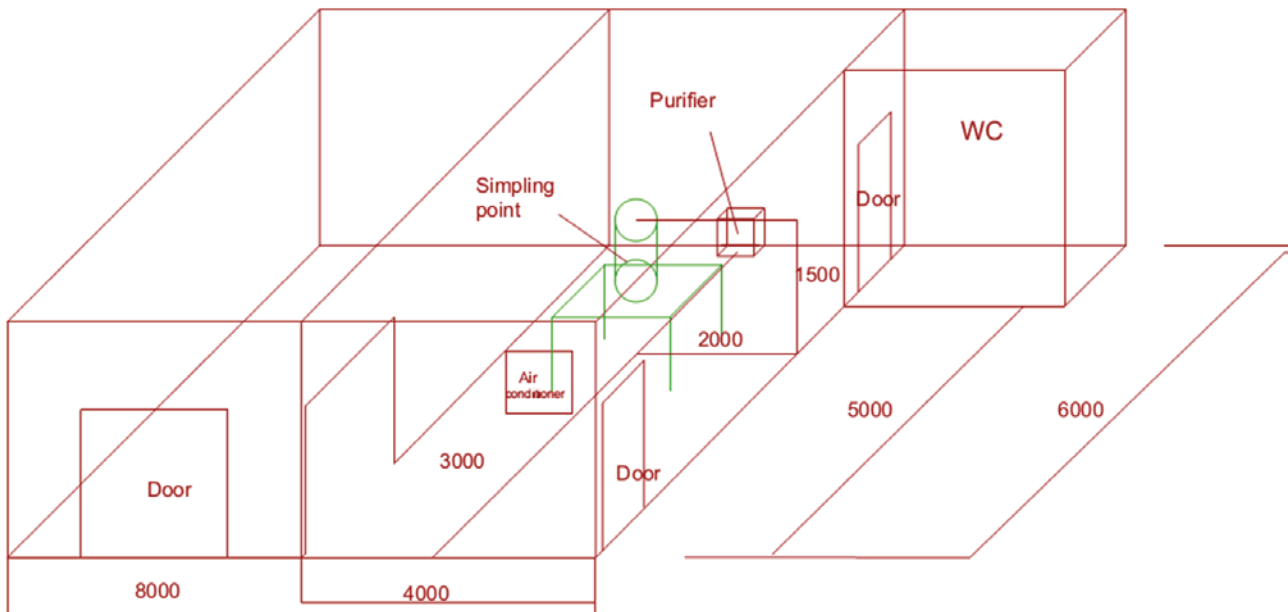
Mô tả: Nằm trong trường đại học ở Hà Nội, gần khu dân cư, đường lớn, khoảng cách tới các đường lớn xung quanh 100 m. Góc tạo thành từ đường thẳng giữa điểm cao nhất của các vật chắn xung quanh và đường nằm ngang đều $< 30^\circ$.

Chiều cao: Nóc tòa nhà 3 tầng, khoảng 10 m. Chiều cao đầu lấy mẫu so với mặt đất: 1,5 m

A2. Ví dụ tham khảo cho lựa chọn điểm đo



Ví dụ 2 - Quan trắc chất lượng không khí trong nhà



Ví dụ 3 - Quan trắc tiếp xúc/ phơi nhiễm cá nhân

- Mục đích: Đánh giá nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ tiếp xúc của học sinh trong trường học.
- Thiết bị đo: máy đo AirSENSE (được thiết kế và sản xuất bởi SPARCLab)
- Đối tượng thực hiện: Học sinh trường THCS 13 tuổi tiếp xúc với bụi mịn $PM_{2.5}$
- Thiết kế chương trình: Thiết bị được bố trí cho 4 học sinh đeo trên người (ngang tầm thở của học sinh: khoảng $1,2 \div 1,5$ mét) trong suốt quá trình hoạt động một ngày 24h (ở nhà, đến trường, đi học thêm, đi chơi...).
- Địa điểm trường học nằm ngay sát mặt đường giao thông lớn, vỉa hè và trong sân trường có nhiều cây xanh. Mỗi lớp học có 4 cửa sổ, 2 cửa chính ra vào, 4 quạt, không sử dụng điều hòa trong thời gian nghiên cứu.

Lựa chọn 4 học sinh cùng học tại một trường và vị trí nhà ở xa trường, gần trường của các bạn so với vị trí trường học để có thể dễ dàng đánh giá sự tương quan và so sánh mức độ tiếp xúc với bụi $PM_{2.5}$.

Dựa trên kết quả quan trắc được, tra bảng từ các báo cáo của US EPA để tìm các thông số tính toán cần thiết rồi đưa vào công thức tính trong phần mềm Excel, ta có lượng bụi $PM_{2.5}$ đi vào cơ thể. Thời gian cho những hoạt động mang tính thụ động (bao gồm cả ngủ) chiếm phần lớn lượng thời gian trong ngày do đó mà liều $PM_{2.5}$ đi vào hệ hô hấp là cao nhất. Hệ số hít thở cũng mang tính quyết định tới liều đi vào cơ thể, đối với hoạt động mạnh hệ số hít thở cao hơn do vậy liều đi vào hệ hô hấp cũng cao hơn so với hoạt động nhẹ và vừa (thời gian hoạt động mạnh, vừa và nhẹ là gần nhau).



Xem thêm các chương trình, hoạt động ứng dụng của LCS tại Việt Nam và trên thế giới tại:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1REMQ3m93Go6w4dsLFocZuy1YZKXuYf31z2orAhOmKaY/edit?hl=en&forcehl=1#gid=909761743>.

PHỤ LỤC B – PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO $PM_{2.5}$ GIÁ THÀNH THẤP

Đây là bản giới thiệu về hoạt động hiệu chuẩn được dịch có bổ sung từ hướng dẫn về LCS của US EPA [36].

Tại sao hiệu chuẩn LCS lại quan trọng?

Hiệu chuẩn LCS là hoạt động quan trọng để tạo ra dữ liệu có độ chính xác nhất định có thể sử dụng được. Hiệu chuẩn được thực hiện bằng cách đối chiếu kết quả đo của thiết bị với nồng độ thực của chất ô nhiễm (kết quả chuẩn). Lý tưởng là việc chuẩn hóa được thực hiện trong cùng các điều kiện (nhiệt độ và độ ẩm, khoảng nồng độ, các chất khí nền, v.v.) như trong điều kiện đo thực tế, vì nhiều cảm biến/LCS chịu ảnh hưởng lớn bởi các điều kiện này.

1. Phương pháp thực hiện:

Có hai cách tiếp cận chính để chuẩn hóa số liệu LCS: (1) Sử dụng bụi chuẩn; (2) Đối chiếu với thiết bị chuẩn.

Phương pháp sử dụng bụi chuẩn

Việc chuẩn hóa số liệu LCS được thực hiện tốt nhất với bụi chuẩn. Ví dụ về các bụi chuẩn là Bụi đô thị (Urban Particulate Matter - UPM), Bụi đường Arizona (Arizona Road Dust - AZRD) và Hạt Latex Polystyrene (Polystyrene Latex Spheres – PSL). UPM và AZRD được bán dưới dạng bột sẽ được thổi (“tái lơ lửng”) vào một thể tích khí lớn (buồng tạo bụi lơ lửng) bằng cách sử dụng nguồn khí nén sạch. Khi dùng cách này cần đo nồng độ của bụi chuẩn được tái lơ lửng. PSL là chất rắn đã được nhũ tương hóa trong nước sau đó được phun tạo thành bụi và được làm khô. PSL có dải kích thước rất hẹp và được sử dụng để hiệu chuẩn khả năng xác định kích thước hạt của cảm biến. Tuy nhiên, việc sử dụng các nguồn bụi chuẩn này đòi hỏi các thiết bị thí nghiệm phức tạp, các cá nhân không chuyên khó có thể tự thực hiện.

Chuẩn hóa số liệu LCS trong phòng thí nghiệm được thực hiện với các điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm tương đối) và nồng độ chất ô nhiễm được kiểm soát chặt chẽ, có thể không tương đồng với điều kiện thực tế. Do đó, ngoài việc hiệu chuẩn trong phòng thí nghiệm, LCS cần phải được hiệu chuẩn tại hiện trường nhằm giúp người dùng hiểu rõ được cách cảm biến sẽ hoạt động trong môi trường thực tế.

Phương pháp đối chiếu với thiết bị tiêu chuẩn

Đây là phương pháp phổ biến, có thể được thực hiện bằng cách đặt LCS gần trạm quan trắc chất lượng không khí tiêu chuẩn/tham chiếu. Thiết bị tham chiếu này có thể là thiết bị quan trắc theo phương pháp khối lượng hoặc thiết bị đo tự động liên tục đã được công nhận về mặt chất lượng. Nếu sử dụng phương pháp này, hãy cân nhắc thực hiện hoạt động này vài ngày trước, trong và sau khoảng thời gian đo của mình. LCS nên đặt càng gần thiết bị tiêu chuẩn càng tốt để hai thiết bị cùng đo khối khí có chất lượng như nhau [39].

2. Xác định quan hệ giữa kết quả của LCS và kết quả chuẩn

2.1. Phương pháp đường chuẩn

Việc chuẩn hóa số liệu của LCS có thể được thực hiện thông qua việc xây dựng đường chuẩn. Điều này được thực hiện bằng cách xây dựng biểu đồ phân tán so sánh các tín hiệu đo của cảm biến với nồng độ chuẩn hoặc nồng độ đo được của thiết bị tham chiếu và biểu diễn quan hệ này ở dạng tuyến tính bằng một phương trình toán học. Nồng độ “sau chuẩn hóa” của LCS được tính từ số liệu gốc thông qua phương trình toán học của đường chuẩn. Số liệu gốc này của LCS là các tín hiệu đo. Trong trường hợp LCS đã được thương mại hóa, số liệu gốc thu được có thể đã được thể hiện ở dạng nồng độ.

2.2. Phương pháp học máy [40]

Bên cạnh phương pháp đường chuẩn hay phương pháp tuyến tính kể trên, các phương pháp học máy khác có thể được áp dụng để xây dựng mối quan hệ giữa giá trị số liệu đo được từ LCS và giá trị nồng độ “chuẩn”. Một số mô hình học máy đã được sử dụng trong các nghiên cứu gần đây được liệt kê phía dưới (chi tiết về từng mô hình có trong tài liệu tham khảo đính kèm):

- Mô hình hồi quy vector hỗ trợ (Support Vector Regression)
- Cây quyết định và Rừng ngẫu nhiên (Decision Trees and Random Forests)
- Thuật toán tăng cường (Boosting Algorithms)
- Mạng thần kinh nhân tạo (Artificial Neural Networks)
- Quy trình Gauss (Gaussian Processes)

3. Thực hiện hiệu chuẩn định kỳ

Hoạt động hiệu chuẩn nên được thực hiện định kỳ (ví dụ: hàng ngày, hàng tuần, hàng quý, nửa năm, hàng năm). Sự cấp thiết và khoảng thời gian của hoạt động hiệu chuẩn sẽ phụ thuộc nhiều vào đặc điểm của LCS đang được sử dụng và mục đích sử dụng. Điều quan trọng là các LCS phải được hiệu chuẩn thường xuyên để có thể kịp thời xử lý những biến đổi của tín hiệu đo theo thời gian. Một số nhà sản xuất có thể hiệu chuẩn LCS trước khi xuất xưởng.

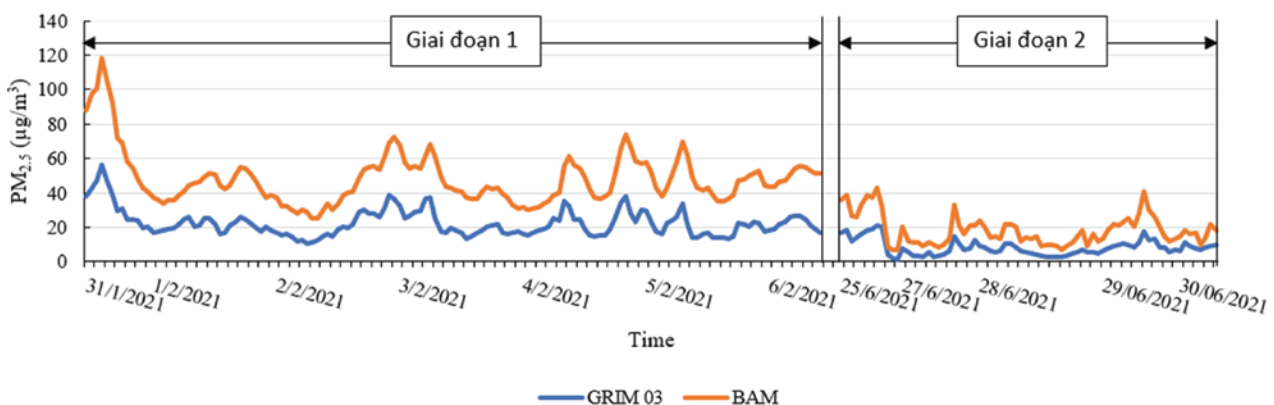
4. Ví dụ tham khảo

Chuẩn hóa số liệu LCS bằng cách đối chiếu với thiết bị chuẩn

Trong phần này, chúng tôi minh họa cho hoạt động hiệu chuẩn LCS bằng hoạt động hiệu chuẩn thiết bị GRIMM dựa vào việc đối chiếu với kết quả đo của thiết bị BAM. Lưu ý GRIMM không phải là LCS do đó kết quả đo tại trường hợp này là lí tưởng.

Việc chuẩn hóa được thực hiện thông qua việc đối chiếu gần (colocate) thiết bị GRIMM với BAM trong 2 đợt trước và sau khi lấy mẫu. Khoảng thời gian đối chiếu cũng được lựa chọn để bộ số liệu của toàn đợt bao phủ khoảng nồng độ từ thấp tới cao cũng như có sự khác biệt về nhiệt độ, độ ẩm. Thiết bị BAM là thiết bị đo tiêu chuẩn với khoảng thời gian đo là 1 giờ/lần. GRIMM được cài đặt để xuất ra số liệu với tần suất 5 phút/lần. Đầu tiên số liệu nồng độ GRIMM theo giờ được tính dựa trên kết quả 5 phút.

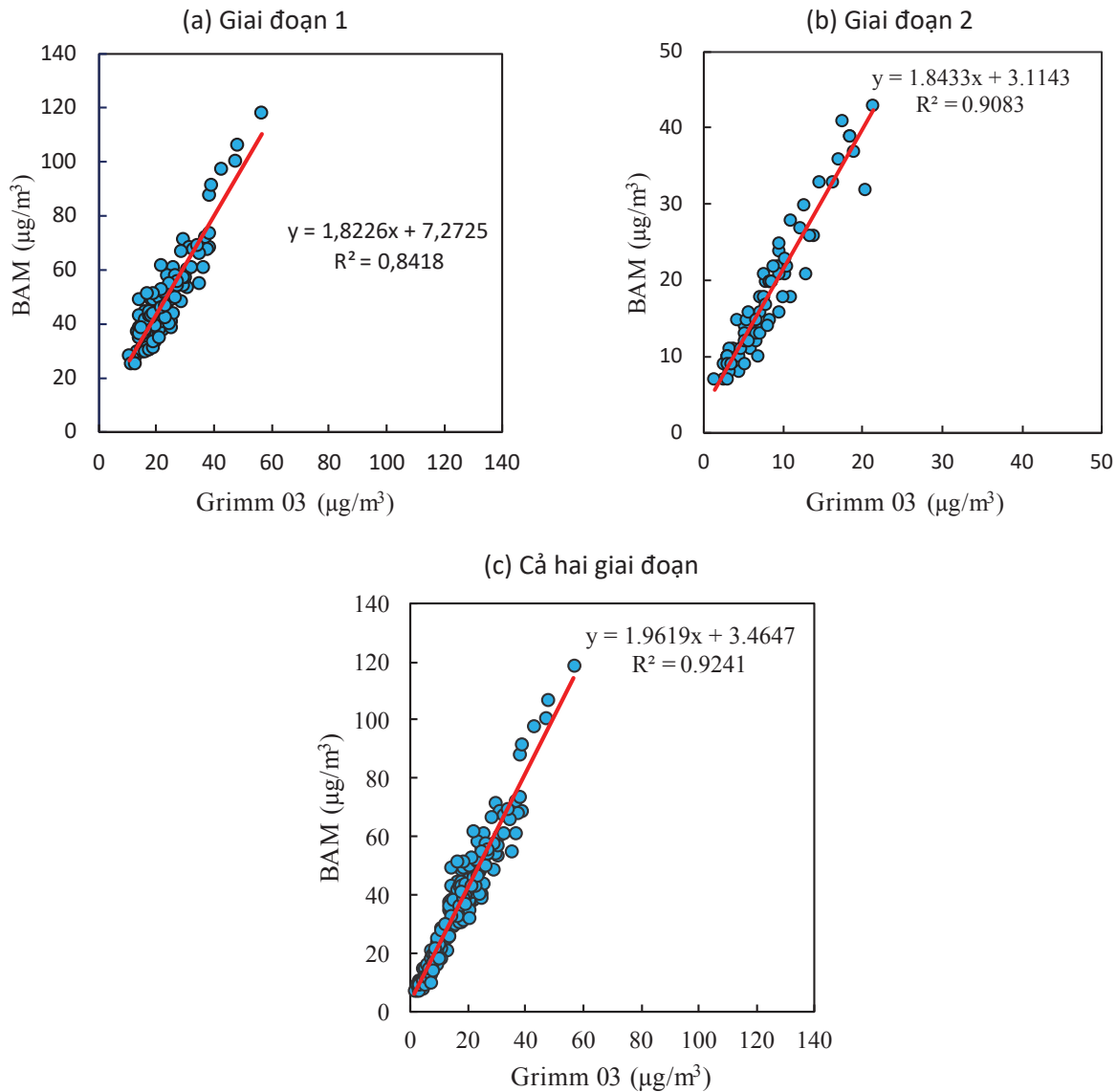
Biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ đo được từ thiết bị BAM và GRIMM được vẽ như Hình 1. Mục đích của việc biểu diễn số liệu theo thời gian là để đánh giá các điểm bất thường (ví dụ giá trị cao đột biến) của một thiết bị. Trong trường hợp nồng độ đo được của hai thiết bị có những điểm chênh lệch bất thường, cần xác định nguyên nhân và loại bỏ những điểm chênh lệch do các vấn đề khi đo. Ví dụ như, nếu một điểm đo được xác định là có sai lệch do một người hút thuốc lá gần sát thiết bị thì điểm đo đó nên được loại bỏ khỏi tính toán. Lưu ý, trường hợp không nhận định được chênh lệch lớn là do các sự cố trong đo đạc, không nên loại bỏ các số liệu lệch theo cảm tính.



Hình 1: Biến thiên dữ liệu giữa GRIMM và BAM

Sau khi đã xử lý số liệu, xây dựng đồ thị phân tán của nồng độ đo được bằng GRIMM và BAM. Kết quả cho thấy hệ số tương quan (R^2) của GRIMM và BAM giai đoạn 1, giai đoạn 2 và trong toàn bộ đợt đối chiếu lần lượt là: 0,84, 0,90, 0,92. Để chuẩn hóa

số liệu GRIMM, sử dụng phương trình thu được trong toàn bộ đợt đối chiếu như trong Hình 2: $y = 1.96x + 3.46$ trong đó x là nồng độ $PM_{2.5}$ đo được bằng GRIMM, và y là nồng độ chuẩn hóa.



Hình 2: Tương quan giữa nồng độ bụi đo được bằng GRIMM và BAM: a) Giai đoạn 1; b) Giai đoạn 2; c) Cả 2 giai đoạn

Bên cạnh các phương pháp đề xuất bởi US EPA, một số tổ chức, đơn vị và quốc gia/vùng khác cũng đưa ra các hướng dẫn và phương pháp đánh giá vận hành đối với LCS. Tham khảo thêm tại:

- Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQSPEC): <http://www.aqmd.gov/aq-spec>
- Trung tâm nghiên cứu Ủy ban châu Âu:

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/>

- Air Parif: <http://www.airlab.solutions/en>
- Clarity Movement Co: Guide to Accurate Particulate Matter Measurements – How to meet US EPA, EU, and Other Performance Standards for Air Sensors

PHỤ LỤC C – PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ CẢM BIẾN ĐO PM_{2.5} GIÁ THÀNH THẤP

1. Mức độ đầy đủ của bộ dữ liệu:

$$C = \frac{v \times 100}{T}$$

Trong đó:

- C : Phần trăm đầy đủ của bộ số liệu (%);
- v : số lượng dữ liệu thu thập được;
- T : Số lượng dữ liệu theo dự kiến ban đầu.

2. Độ chụm:

Độ lệch chuẩn SD được tính theo công thức:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{(n \times m) - 1} \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \right]}$$

Trong đó:

- Độ lệch chuẩn SD của giá trị nồng độ trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của các LCS đánh giá ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- m : số lượng LCS được đánh giá đồng thời;
 n : số ngày tất cả các LCS cho kết quả trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) hợp lệ trong thời gian đánh giá;
- x_{ij} : nồng độ trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của ngày thứ i của LCS thứ j ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- $\bar{x}_i$: nồng độ trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của ngày thứ i của các LCS đánh giá ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Hệ số biến động CV được tính theo công thức:

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

Trong đó:

- CV: hệ số biến động (%)
- SD: độ lệch chuẩn của giá trị nồng độ trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của các LCS đánh giá ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- $\bar{x}$: nồng độ trung bình trong khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) trong toàn đợt đánh giá.

3. Sai số RMSE và NRMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n \times m} \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - R_i)^2 \right]}$$

Trong đó:

- RMSE: sai số căn quân phương ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- n : số ngày có dữ liệu trung bình 24h hợp lệ của các LCS được đánh giá;
- m : số LCS cùng được đánh giá trong chương trình đánh giá;
- x_{ij} : nồng độ trung bình khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của ngày thứ i của LCS thứ j ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- R_i : nồng độ trung bình khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của ngày thứ i của thiết bị tham chiếu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$NRMSE = \frac{RMSE}{R_i} \times 100$$

Trong đó:

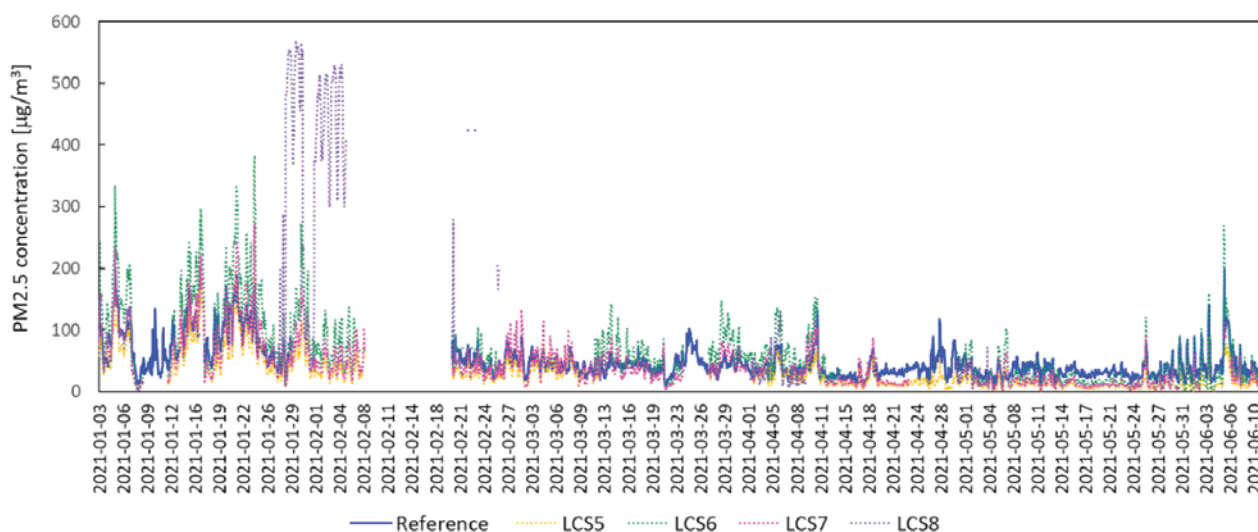
- NRMSE: sai số căn quân phương được chuẩn hóa (%);
- RMSE: sai số căn quân phương ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- R_i : nồng độ trung bình khoảng thời gian xét (1h hoặc 24h) của thiết bị tham chiếu trong suốt thời gian đánh giá ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PHỤ LỤC D – VÍ DỤ VỀ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ LCS

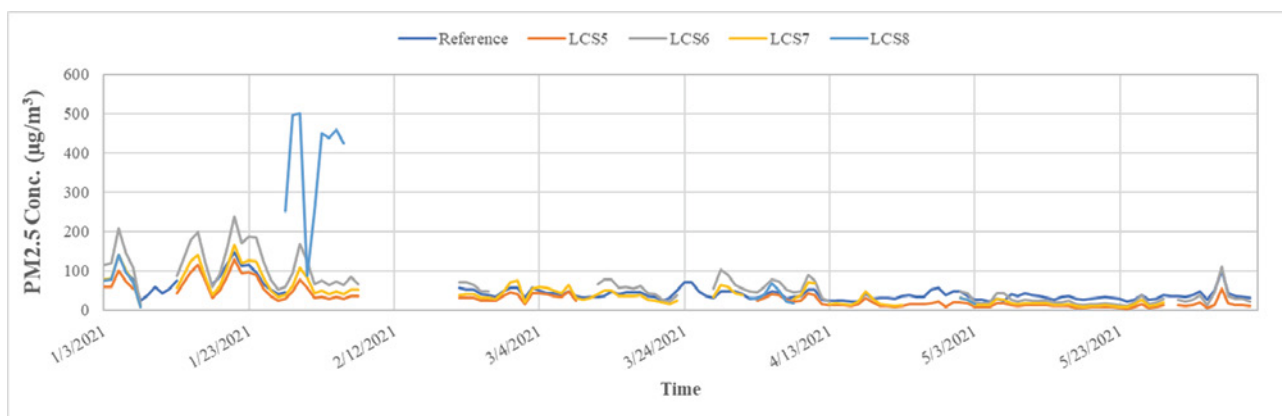
D1. Ví dụ về trường hợp đánh giá LCS được phát triển bởi 1 chương trình STEM

I. Đánh giá cơ bản

1.1 Biến thiên nồng độ theo thời gian (Time series)



Hình 1: Biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ trung bình 1 giờ được đo bởi LCS5 - LCS8 và thiết bị tham chiếu (Reference)

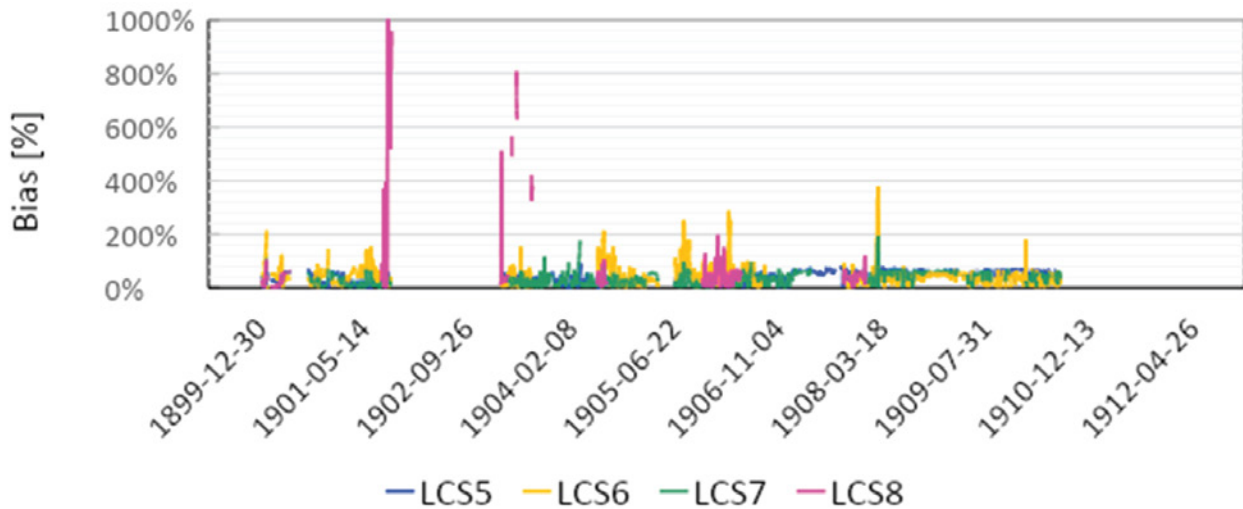


Hình 2: Biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ trung bình 24-giờ đo được bởi LCS5 – LCS8 và thiết bị tham chiếu

Hình 1 và 2 cho thấy nồng độ bụi $PM_{2.5}$ đo bởi của nhóm LCS5 - LCS8 có xu thế biến thiên khá tương đồng với xu thế biến thiên của kết quả từ thiết bị tham chiếu. LCS8 có một khoảng thời gian có nồng

độ hoàn toàn khác với thiết bị tham chiếu và các LCS khác trong nhóm. Theo thời gian các LCS có sự suy giảm dần về tín hiệu khi so sánh với thiết bị tham chiếu.

1.2. Độ chệch (Bias)



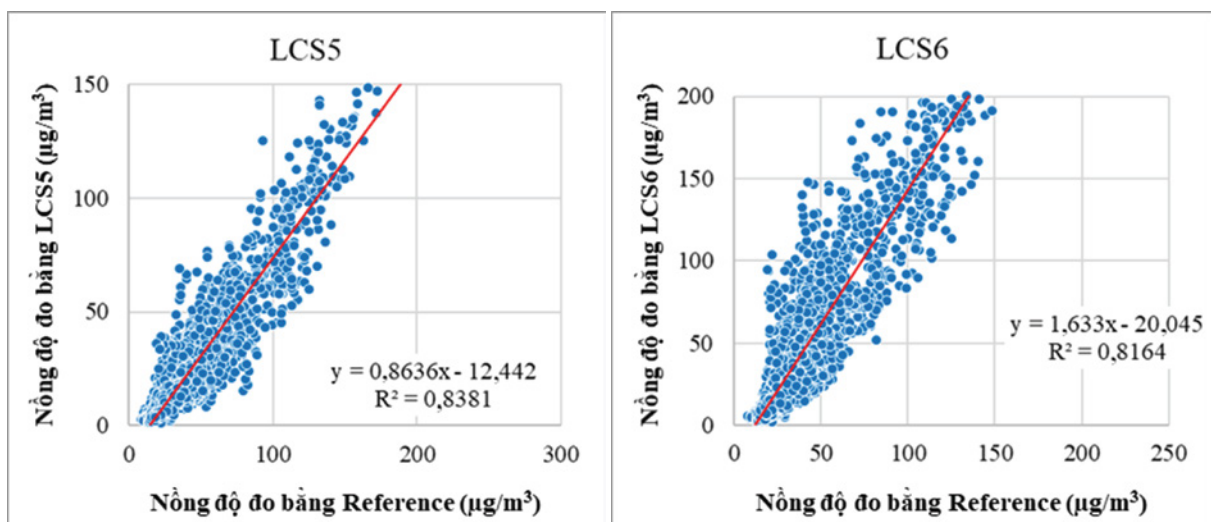
Hình 3: Biến thiên độ chệch giữa kết quả đo của LCS5 – LCS8 và thiết bị tham chiếu

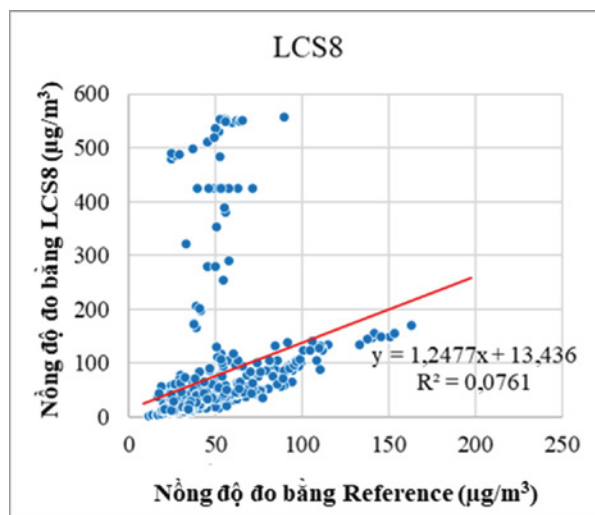
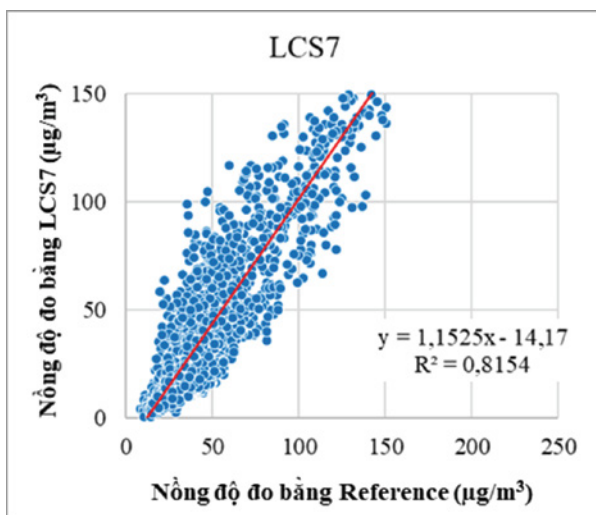
Hình 3 cho thấy, trong nhóm 4 LCS này, sai lệch giữa kết quả đo của ba LCS 5-7 so với thiết bị tham chiếu thay đổi trong biên độ 0-200% trong suốt thời gian đánh giá. Đối với LCS8 tại thời điểm đầu, hoạt động không ổn định, có thời điểm bias lên đến 1000%. Ngoài ra, trong quá trình hoạt động dữ liệu của các LCS bị gián đoạn nhiều. Đối với LCS6 và LCS8, khoảng thời gian có độ chệch ổn định

thường rất ngắn, khoảng 7-10 ngày trong suốt thời gian đánh giá. Do đó, nghiên cứu đã tiến hành đánh giá lại các kết quả đo sau khi loại bỏ các giá trị không ổn định, cụ thể là đối với LCS6 thời gian đánh giá lại là 30/4 đến 10/6. Đối với LCS8 thời gian đánh giá lại là từ 3/1 đến 27/1/2021 và từ 11/3 đến 4/5/2021.

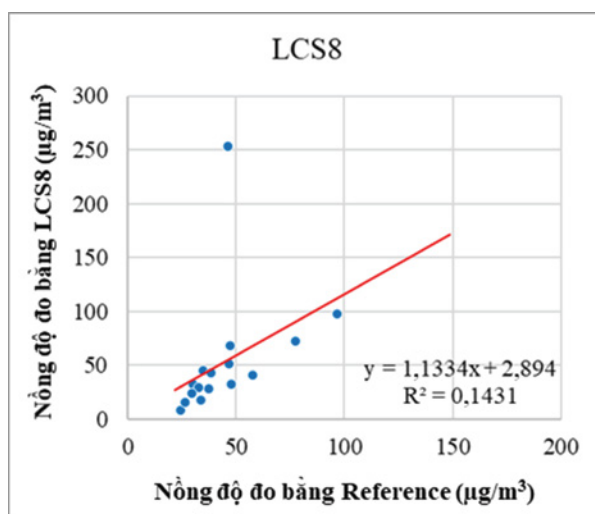
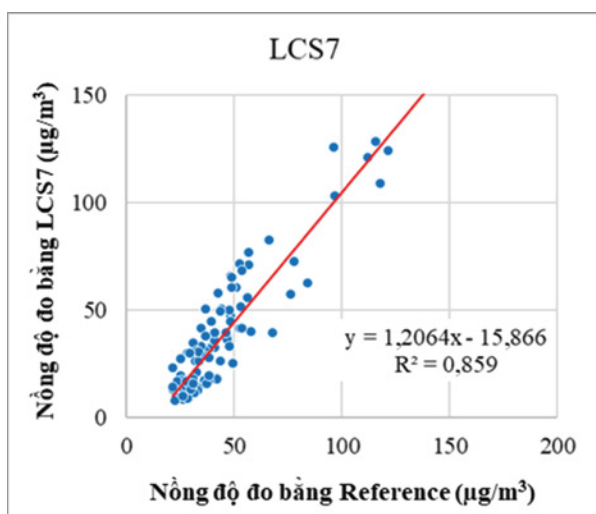
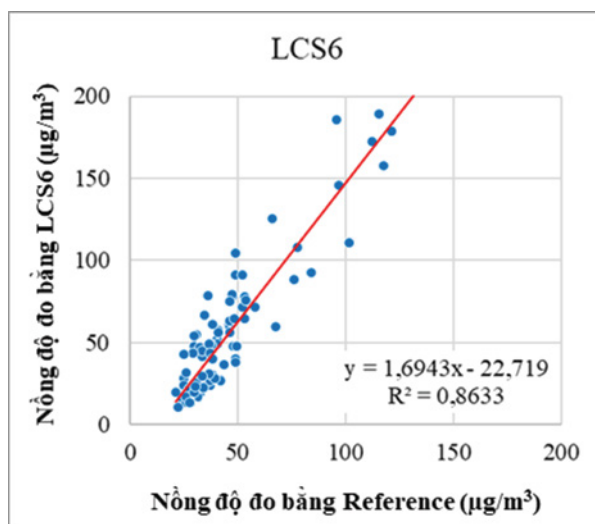
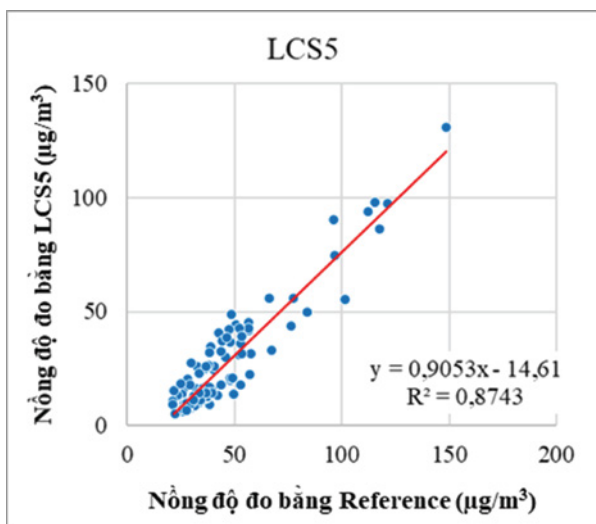
1.3. So sánh kết quả đo của LCS với thiết bị tham chiếu

a. Trung bình 1-giờ





b. Trung bình 24-giờ



Hình 4: Đồ thị tương quan của nồng độ $PM_{2,5}$ đo bằng LCS và thiết bị tham chiếu trung bình 1-giờ (a) và trung bình 24-giờ (b) trong toàn bộ thời gian khảo sát

Bảng 1: Kết quả đánh giá hoạt động của LCS5 – LCS8

TT	Thiết bị	Độ chệch		Mức độ tuyến tính	Sai số		SD	CV
		Độ dốc	Đoạn chắn		RMSE ^(**) (µg/m ³)	NRMSE ^(**) (%)		
Nồng độ trung bình 1-giờ								
1	LCS5	0,86	-12,44	0,84	22,00	46,9	95.42	114.7
2	LCS6	1,63	-20,05	0,82	30,64	64,1		
3	LCS7	1,15	-14,17	0,82	17,01	36,7		
4	LCS8	1,25	13,44	0,08	110,28	234,3		
Nồng độ trung bình 24-giờ								
1	LCS5	<u>0,91</u>	-14,61	<u>0,87</u>	20,77	45,4	101.12	104.1
2	LCS6	<u>1,69</u>	-22,72	<u>0,86</u>	25,72	55,5		
3	LCS7	<u>1,21</u>	-15,87	<u>0,86</u>	14,06	31,3		
4	LCS8	<u>1,13</u>	<u>2,89</u>	0,14	52,77	118,6		
Mức khuyến nghị (*)		1,0 ± 0,35	-5 ≤ b ≤ 5	≥ 0,70	≤ 7	≤ 30		

(*) Áp dụng với nồng độ trung bình 24-giờ, tham khảo từ tài liệu của US-EPA (Rachelle M. Duvall et al., Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications, EPA/600/R-20/280 February 2021)

(**) Thỏa mãn 1 trong hai chỉ tiêu

Kết quả hoạt động của LCS được thể hiện ở Hình 4 và Bảng 1. Để có thêm thông tin về hoạt động của LCS chúng tôi so sánh các thông số hoạt động của LCS với mức khuyến nghị được ban hành bởi US-EPA do Việt Nam chưa có các tiêu chuẩn tương ứng. Các khuyến nghị này mới được US-EPA ban hành lần đầu năm 2021 và không bao gồm việc sử dụng LCS cho việc quan trắc đánh giá tuân thủ. Có thể thấy, khi đối chiếu kết quả của LCS5, LCS6, LCS7 với kết quả của thiết bị tham chiếu, mức độ tuyến tính rất cao thể hiện xu thế biến thiên của LCS đánh giá tương đồng với xu thế biến thiên của thiết bị

tham chiếu. Tuy nhiên, sai số của cả 4 LCS đều không đạt mức khuyến nghị. Sai số này có thể được khắc phục thêm bằng cách áp dụng các hệ số chuẩn hóa hoặc phương pháp khác. Riêng LCS8 hệ số tương quan của đường tuyến tính rất thấp, có thể do LCS hoạt động không ổn định vào nhiều thời điểm trong quá trình đánh giá.

Kết quả trên cũng cho thấy các LCS trong cùng một model có thể có kết quả hoạt động rất khác nhau. Do đó mỗi LCS đều cần được chuẩn hóa số liệu khi đo.

Bảng 1: Kết quả đánh giá hoạt động của LCS5 – LCS8

TT	Thiết bị	Độ chệch		Mức độ tuyến tính	Sai số	
		Độ dốc	Đoạn chắn		RMSE ^(**) (µg/m³)	NRMSE ^(**) (%)
Nồng độ trung bình 1-giờ						
1	LCS6	1,21	-15,63	0,72	16,34	45
2	LCS8	1,06	-4,88	0,48	28,17	60,1
Nồng độ trung bình 24-giờ						
1	LCS6	<u>1,16</u>	-13,97	<u>0,79</u>	11,32	31,8
2	LCS8	<u>1,07</u>	-7,33	<u>0,79</u>	11,48	25,9
Mức khuyến nghị ^(*)		1,0 ± 0,35	-5 ≤ b ≤ 5	≥ 0,7	≤ 7	≤ 30

(*) Áp dụng với nồng độ trung bình 24-giờ, tham khảo từ tài liệu của US-EPA (Rachelle M. Duvall et al., Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications, EPA/600/R-20/280 February 2021)

(**) Thỏa mãn 1 trong hai chỉ tiêu

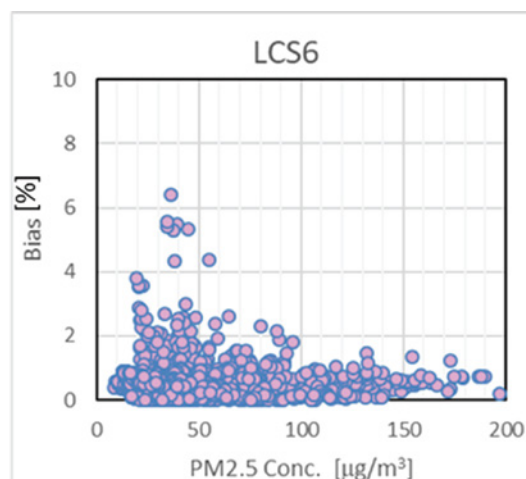
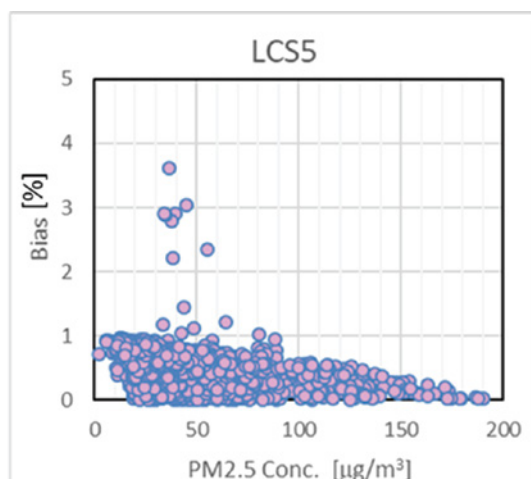
Sau khi đánh giá lại LCS6 trong khoảng thời gian liên tục từ 30/4 đến 10/6 (bảng 2) kết quả đánh giá tốt hơn, sai số thấp hơn. Tuy nhiên, chỉ có mức độ tuyến tính và độ dốc đạt mức khuyến nghị của US-EPA.

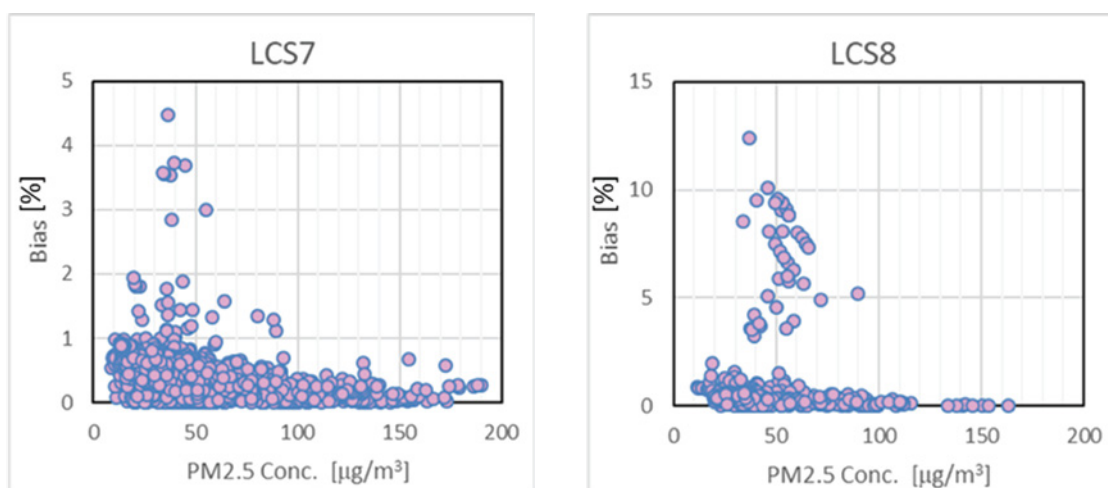
Đối với LCS8, sau khi bỏ các điểm không ổn định trong khoảng thời gian từ 28/1 đến 10/3 (thời điểm LCS hoạt động trở lại sau khi bị gián đoạn) thì

kết quả cải thiện đáng kể, mức độ tuyến tính, độ dốc và NRMSE đạt yêu cầu theo khuyến nghị của US-EPA. Tuy nhiên, độ dốc vẫn không đạt mức khuyến nghị.

II. Đánh giá nâng cao

2.1. Đánh giá ảnh hưởng của nồng độ đến kết quả đo của LCS



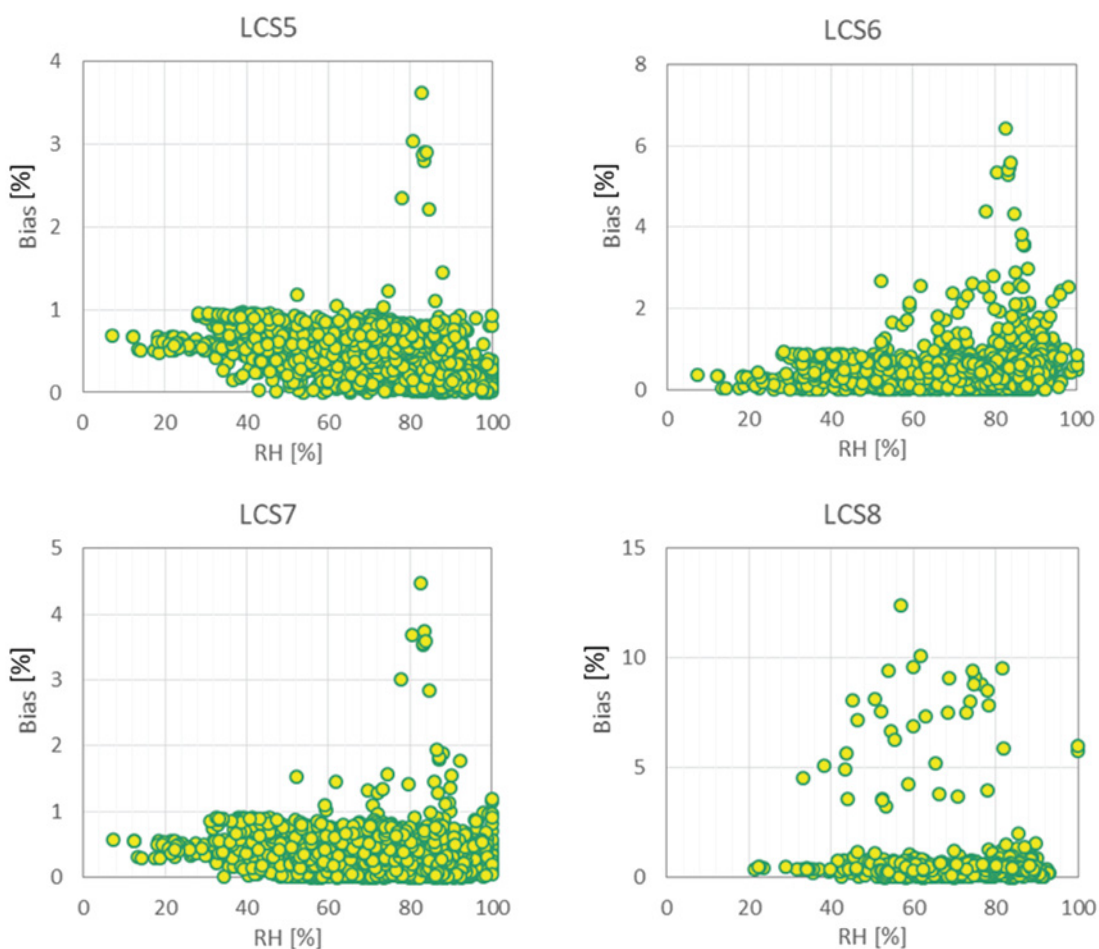


Hình 5: Biến thiên độ chệch (bias) của LCS5 – 8 và thiết bị tham chiếu theo khoảng nồng độ

Hình 5 cho thấy ở khoảng nồng độ $< 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kết quả đo của LCS5-7 có xu hướng sai lệch nhiều hơn so với kết quả đo ở khoảng nồng độ cao hơn. Ở khoảng nồng độ $< 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kết quả đo của LCS8

có xu hướng sai lệch nhiều hơn so với kết quả đo ở khoảng nồng độ cao hơn.

2.2. Đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm đến kết quả đo của LCS



Hình 6: Biến thiên độ chệch (bias) của LCS5 – LCS8 và thiết bị tham chiếu theo khoảng độ ẩm tương đối

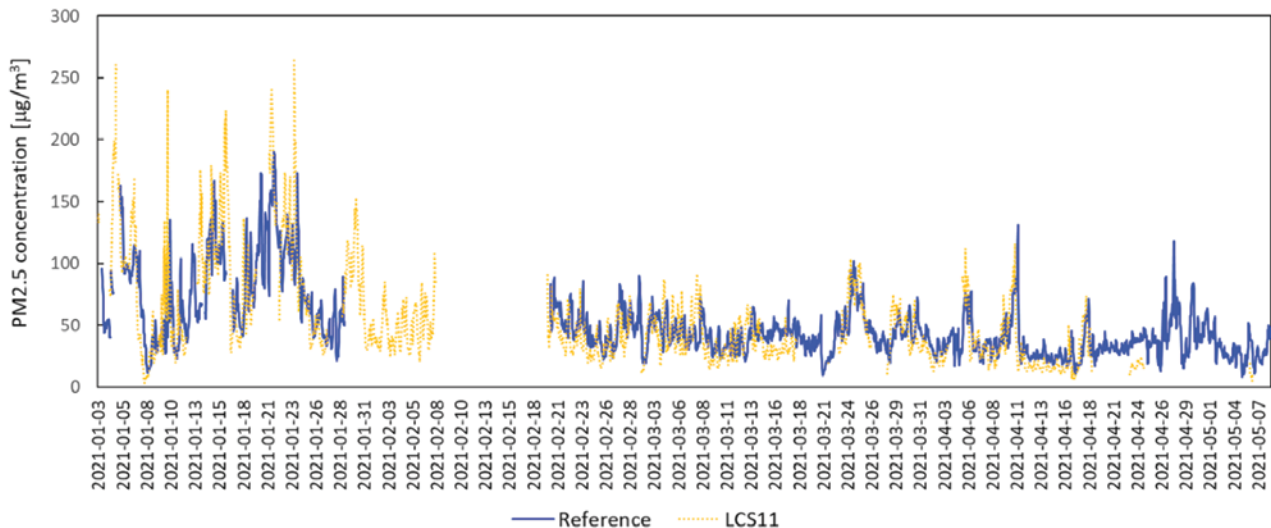
Hình 6 cho thấy ảnh hưởng riêng của độ ẩm đến kết quả đo của các LCS trong nghiên cứu này là không rõ ràng. Do đó, trong phạm vi của nghiên

cứu này, không thể kết luận về ảnh hưởng của độ ẩm đến kết quả đo của LCS5 - 8.

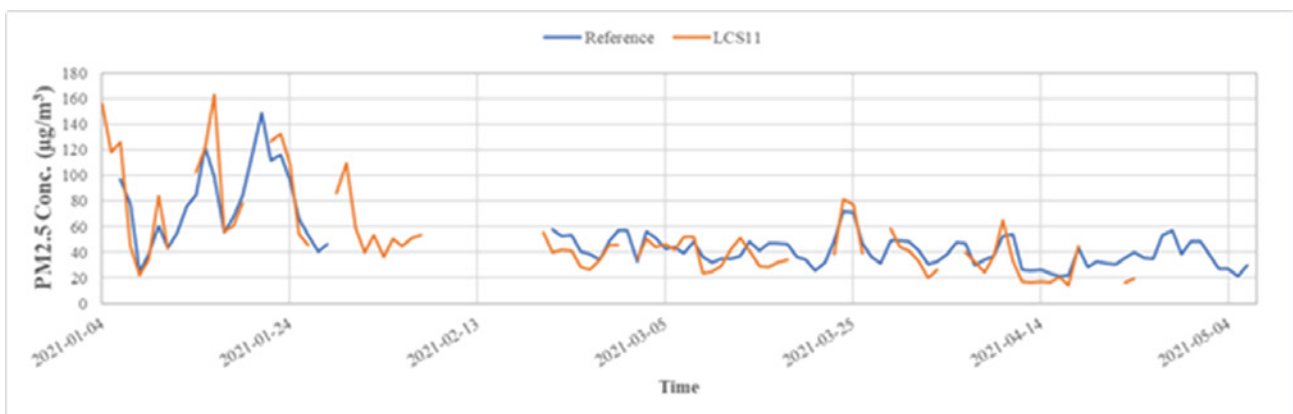
D2. Ví dụ về trường hợp đánh giá LCS thương mại do Việt Nam sản xuất

I. Đánh giá cơ bản

1.1. Biến thiên nồng độ theo thời gian (Time series)



Hình 1: Biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ trung bình 1 giờ được đo bởi LCS11 và thiết bị tham chiếu (Reference)

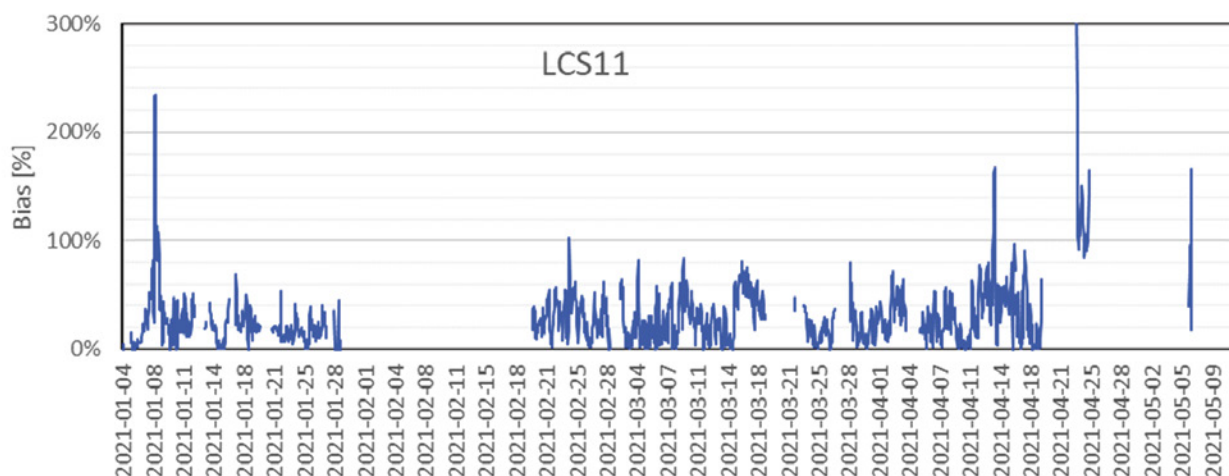


Hình 2: Biến thiên nồng độ $PM_{2.5}$ trung bình 24-giờ được đo bởi LCS11 và thiết bị tham chiếu

Hình 1 và 2 cho thấy nồng độ bụi $PM_{2.5}$ đo bởi LCS11 có xu thế biến thiên khá tương đồng với xu thế biến thiên của kết quả từ thiết bị tham chiếu. Tín hiệu của LCS11 sớm hơn 07 giờ so với tín hiệu

của thiết bị tham chiếu. Kết quả đánh giá dưới đây là kết quả sau khi đã đồng bộ thời gian của hai thiết bị.

2. Độ chệch (Bias)



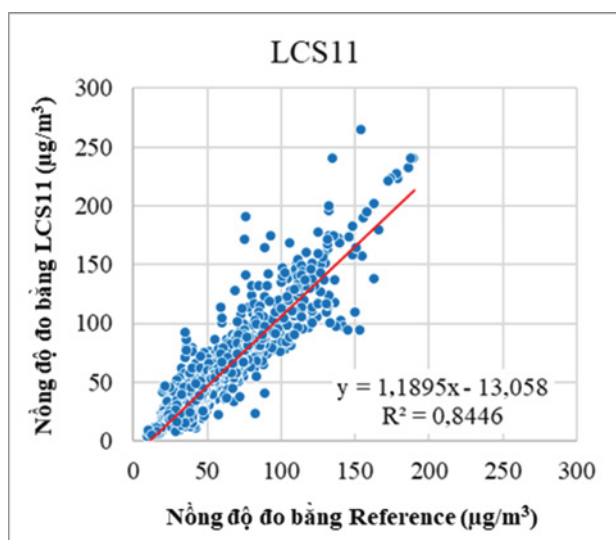
Hình 3: Biến thiên độ chệch giữa kết quả đo của LCS11 (sau khi chuẩn hóa) và thiết bị tham chiếu theo thời gian

Hình 3 cho thấy LCS11 có độ chệch so với thiết bị tham chiếu thấp, độ chệch biến động nhẹ trong một tuần đầu lắp đặt và sau đó ổn định hơn cho đến hết thời gian đánh giá trong khoảng 4-5 tháng.

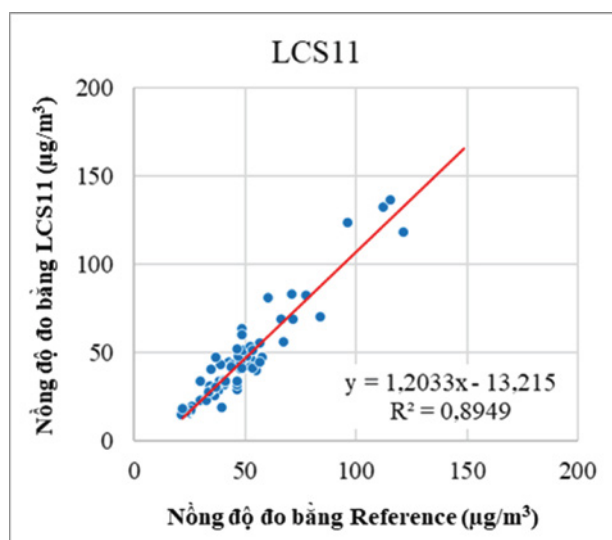
Đến giai đoạn cuối, dữ liệu thường bị gián đoạn, sai lệch giữa kết quả đo của LCS11 với thiết bị tham chiếu lớn hơn giai đoạn hoạt động ổn định.

3. So sánh kết quả đo của LCS với thiết bị tham chiếu

(a) Trung bình 1-giờ



(b) Trung bình 24-giờ



Hình 4: Đồ thị tương quan của nồng độ $PM_{2.5}$ đo bằng LCS và thiết bị tham chiếu trung bình 1-giờ (a) và trung bình 24-giờ (b)

Bảng 1: Kết quả đánh giá hoạt động của LCS11

TT	Thiết bị	Độ chệch		Mức độ tuyến tính	Sai số	
		Độ dốc	Đoạn chắn		RMSE(**) (µg/m³)	NRMSE(**) (%)
Nồng độ trung bình 1-giờ						
1	LCS11	<u>1,19</u>	-13,06	<u>0,84</u>	15,44	<u>30</u>
Nồng độ trung bình 24-giờ						
1	LCS11	<u>1,20</u>	-13,22	<u>0,89</u>	10,26	<u>20,8</u>
Mức khuyến nghị ^(*)		1,0 ± 0,35	-5 ≤ b ≤ 5	≥ 0,70	≤ 7	≤ 30

(*) Áp dụng với nồng độ trung bình 24-giờ, tham khảo từ tài liệu của US-EPA (Rachelle M. Duvall et al., Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications, EPA/600/R-20/280 February 2021)

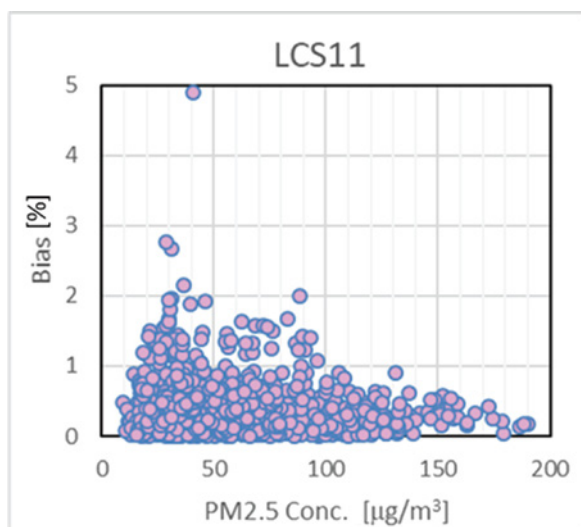
(**) Thỏa mãn 1 trong hai chỉ tiêu

Kết quả hoạt động của LCS được thể hiện ở Hình 4 và Bảng 1. Để có thêm thông tin về hoạt động của LCS chúng tôi so sánh các thông số hoạt động của LCS với mức khuyến nghị được ban hành bởi US-EPA do Việt Nam chưa có các tiêu chuẩn tương ứng. Các khuyến nghị này mới được US-EPA ban

hành lần đầu năm 2021 và không bao gồm việc sử dụng LCS cho việc quan trắc đánh giá tuân thủ. Kết quả đánh giá LCS11 cho thấy mức độ tuyến tính, độ dốc và sai số thể hiện qua NRMSE đạt yêu cầu theo khuyến nghị của US-EPA. Đoạn chắn chưa đạt mức khuyến nghị của US-EPA.

II. Đánh giá nâng cao

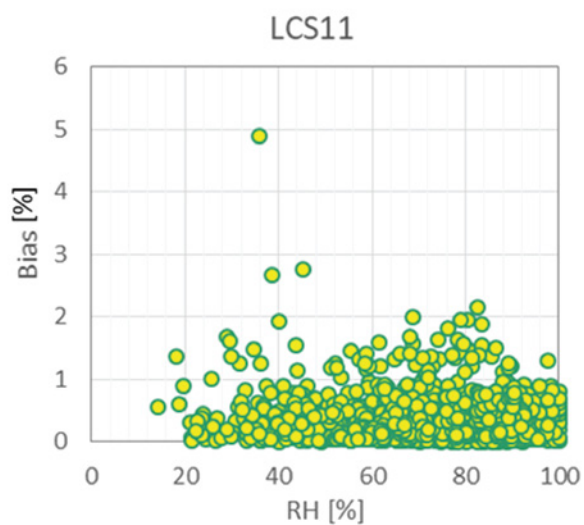
2.1. Đánh giá ảnh hưởng của nồng độ đến kết quả đo của LCS



Hình 5: Biến thiên độ chệch (bias) của LCS11 và thiết bị tham chiếu theo khoảng nồng độ

Hình 5 cho thấy ở khoảng nồng độ $< 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kết quả đo của LCS 11 có xu hướng sai lệch nhiều hơn so với kết quả đo ở khoảng nồng độ cao hơn.

2.2. Đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm đến kết quả đo của LCS



Hình 6: Biến thiên độ chệch (bias) của LCS11 và thiết bị tham chiếu theo khoảng độ ẩm tương đối

Hình 6 cho thấy ảnh hưởng riêng của độ ẩm đến kết quả đo của các LCS trong nghiên cứu này là không rõ ràng. Do đó, trong phạm vi của nghiên cứu này, không thể kết luận về ảnh hưởng của độ ẩm đến kết quả đo của LCS11.



Tài liệu được xuất bản bởi:

Trung tâm Sống và Học tập vì Môi trường và Cộng đồng (Live&Learn)

Địa chỉ: Số 24 Làng Kiến trúc phong cảnh, ngõ 45A Võng Thị, Hà Nội.

Điện thoại: (+84) 24 3 718 5930

Email: vietnam@livelearn.org

Website: www.khisachtroixanh.com

Fanpage: Thế Hệ Xanh