



Original Article

Characteristics of PM_{2.5} in Long Binh Industry Park, Bien Hoa City, Vietnam: Concentrations, Chemical Composition, Source Appointment, and Health Risk Assessment

Hoang Anh Le^{1,*}, Bui Duy Linh^{1,2}, Nguyen Thanh Tuan², Pham Thu Huyen¹

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center

63 Nguyen Van Huyen, Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

Received 01 November 2023

Revised 16 February 2024; Accepted 23 February 2024

Abstract: This study aimed to assess the concentration, source, chemical properties, and health risks associated with PM_{2.5} in Long Binh ward, Bien Hoa city, Dong Nai province, where there is a large distribution of industrial zones. PM_{2.5} samples were collected using a high-volume sampler during both the dry and rainy seasons. The concentration of PM_{2.5} was determined by *Mettler Toledo XS205*, and the chemical properties of eleven heavy metal elements were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (*ICP-MS; iCAP-RQ, Thermo Science, US*). The migration trajectory of PM_{2.5} was determined using the HYSPLIT model. The results showed that the PM_{2.5} concentration exceeded the WHO recommended value, while only the PM_{2.5} concentration in the dry season exceeded the national standard (QCVN 05:2013/BTNMT). Industry, road, and non-road transportation activities were identified as the main sources of PM_{2.5}. The heavy metal element Cr found in the fine particles might be the largest health risk factor. The health risk assessment revealed that the HI values (health index) were lower than 1 in both seasons, indicating a low risk of chronic adverse health effects. However, the TRC values (total carcinogenic risk) exceeded the recommended threshold for cancer risk in both the rainy season ($10^{-4} \pm 6,6 \times 10^{-5}$) and dry seasons ($7,9 \times 10^{-4} \pm 5,6 \times 10^{-4}$).

Keywords: PM_{2.5}, Chemical characteristic, Source appointment, Health risk assessment, Bien Hoa.

* Corresponding author.

E-mail address: leha@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5028>

Đặc tính của bụi mịn (PM_{2.5}) tại khu công nghiệp Long Bình, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai: nồng độ, thành phần hóa học, quỹ đạo di chuyển và rủi ro sức khỏe cộng đồng

Hoàng Anh Lê^{1,*}, Bùi Duy Linh^{1,2}, Nguyễn Thanh Tuấn², Phạm Thu Huyền¹

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Phân viện Hóa - Môi trường, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga,
63 Nguyễn Văn Huyền, Nghĩa Đô, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 01 tháng 11 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 16 tháng 02 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 23 tháng 02 năm 2024

Tóm tắt: Ô nhiễm bụi mịn (PM_{2.5}) đã gây nên nhiều tác động đối với môi trường, kinh tế, gánh nặng bệnh tật đối với cộng đồng. Trong nghiên cứu này, các mẫu bụi mịn PM_{2.5} được thu thập bằng thiết bị lấy mẫu thể tích lớn (E-1000DBLX, Tisch Environment, Inc.) trong mùa khô và mùa mưa tại phường Long Bình, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, nơi có sự phân bố nhiều khu công nghiệp lớn nhất tỉnh. Hàm lượng bụi được xác định bằng thiết bị cân trọng lượng Mettler Toledo XS205. Nồng độ các nguyên tố kim loại nặng trong PM_{2.5} được phân tích bằng phép đo khối phổ plasma kết hợp cảm ứng (ICP-MS; iCAP-RQ, Thermo Science, Mỹ). Quỹ đạo di chuyển của bụi PM_{2.5} được trích xuất bằng mô hình HYSPLIT. Kết quả cho thấy nồng độ bụi vượt giá trị khuyến cáo của Tổ chức Y tế thế giới WHO, nhưng chỉ có nồng độ bụi trong mùa khô vượt quy chuẩn quốc gia hiện hành QCVN 05:2013/BTNMT. Nguồn đóng góp bụi mịn PM_{2.5} được tiên lượng từ giao thông đô thị, công nghiệp và tàu thuyền trên biển. Cr là nguyên tố kim loại nặng có mức độ rủi ro và ảnh hưởng đến sức khỏe nhiều nhất. Giá trị HI trong mùa mưa và mùa khô đều thấp hơn 1, lần lượt là $0,15 \pm 0,06$ và $0,96 \pm 0,64$, cho thấy mức độ rủi ro thấp để dẫn đến các tác động xấu mãn tính đối với sức khỏe con người. Giá trị TCR trong mùa mưa và mùa khô (lần lượt là $10^{-4} \pm 6,6 \times 10^{-5}$ và $7,9 \times 10^{-4} \pm 5,6 \times 10^{-4}$, có khả năng đối với nguy cơ ung thư.

Từ khóa: Bụi mịn, PM_{2.5}, thành phần hóa học, nguồn phát tán, rủi ro sức khỏe, Biên Hòa.

1. Mở đầu

Ô nhiễm không khí (ÔNKK) là một trong những vấn đề môi trường mang tính thời đại và diễn ra ở quy mô toàn cầu. Trong đó, các nước đang phát triển được đánh giá là những quốc gia có hiện trạng ÔNKK ở mức cao của thế giới. Ở Việt Nam, theo số liệu quan trắc môi trường không khí ghi nhận thì nồng độ các chất ÔNKK

ở các địa phương như thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh luôn ở mức cao của thế giới, đồng nghĩa với chất lượng không khí (CLKK) ở mức thấp [1]. Chỉ số CLKK (Air Quality Index - IQAir) của thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh nằm trong ngưỡng có hại cho sức khỏe con người (IQAir = 151 - 200) [2]. Trong các nghiên cứu khoa học và báo cáo CLKK thì nồng

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: leha@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5028>

độ bụi mịn (bụi có đường kính khí động học $\leq 2,5 \mu\text{m}$, được ký hiệu là $\text{PM}_{2.5}$) trong không khí luôn được quan tâm nhất. Theo thông kê quốc gia giai đoạn 2018 - 2020, giá trị trung bình năm của $\text{PM}_{2.5}$ đều ở mức cao, có nơi vượt ngưỡng tiêu chuẩn quốc gia hiện hành (QCVN 05:2013/BTNMT) đến 2,2 lần [1]. Nguồn gây ÔNKK chính được xác định bao gồm nguồn công nghiệp, giao thông vận tải, đốt sinh khối và sản xuất làng nghề. Hệ quả của ÔNKK gây ảnh hưởng đến năng suất mùa màng, cơ sở hạ tầng, công trình xây dựng, làm tăng chi phí và gánh nặng bệnh tật có liên quan [1].

Ở khu vực phía Nam nước ta, tỉnh Đồng Nai có những vùng ÔNKK cục bộ, điển hình là khu vực thành phố Biên Hòa (BHC) [4, 5]. Một số nguồn thải được xem là nguyên nhân dẫn đến CLKK ở mức kém bao gồm nguồn địa phương (hoạt động giao thông, công nghiệp) và ảnh hưởng từ các nguồn ÔNKK vùng lân cận, trong đó có sự lan truyền chất ô nhiễm từ các khu vực sản xuất công nghiệp lớn như Bình Dương và thành phố Hồ Chí Minh [3-5]. Ở BHC, CLKK khu vực phường Long Bình có mức ô nhiễm cao, phần lớn do vấn đề hoạt động của các khu công nghiệp (KCN). Đây là địa bàn tập trung nhiều KCN lớn, trong đó có 4/5 KCN lớn nhất của tỉnh Đồng Nai như Amata, Loteco, Agtex Long Bình, Biên Hòa 2 [6]. Tuy nhiên trong điều kiện hạn chế về nguồn nhân lực, trang thiết bị, kinh phí vận hành, duy tu, bảo dưỡng nên hệ thống quan trắc, cung cấp dữ liệu, thông tin cảnh báo về CLKK địa phương chưa được đầy đủ, liên tục. Cũng như chưa có nghiên cứu khoa học nào về việc xác định các nguồn thải đóng góp vào mức ÔNKK của địa phương một cách đầy đủ, chuyên sâu. Do vậy chưa đáp ứng được nhu cầu của các cấp chính quyền địa phương, các nhà hoạch định chính sách, người ra quyết định, các nhà khoa học và cộng đồng [7].

Gần đây, một số công trình nghiên cứu cũng đã công bố về nồng độ [3-5] và cấu trúc tỷ lệ cấp hạt của $\text{PM}_{2.5}$ [4] tại vị trí gần sân bay Biên Hòa (phường Tân Phong) trên địa bàn BHC. Diễn biến nồng độ và thành phần các kim loại nặng (KLN) trong bụi $\text{PM}_{2.5}$ tại phường Long Bình cũng đã được công bố [5]. Tuy nhiên, trong bài

báo đó, Linh và cộng sự (2023) [5] sử dụng mô hình HYSPLIT (*The Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) để xem xét quỹ đạo di chuyển của sáu KLN (As, Cd, Cr, Cu, Pb và Zn) được phân tích có trong $\text{PM}_{2.5}$. Trong nghiên cứu này, để đánh giá một cách đầy đủ hơn về hiện trạng CLKK, nguồn đóng góp chính và tác động của nó đến sức khỏe cộng đồng, các mẫu bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ được thu thập tại phường Long Bình, BHC, tỉnh Đồng Nai. Mẫu bụi $\text{PM}_{2.5}$ được phân tích thành phần hóa học với 11 nguyên tố KLN khác nhau, tiên lượng nguồn thải chính, xác định quỹ đạo di chuyển của hạt bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ (bằng mô hình HYSPLIT) và đánh giá nguy cơ rủi ro sức khỏe cộng đồng tại khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

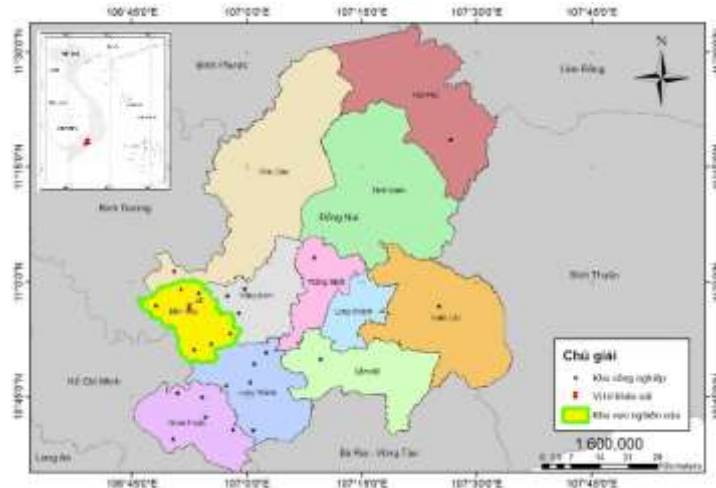
2.1. Chương trình quan trắc bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$

Điểm quan trắc mẫu bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ tại phường Long Bình, BHC, tỉnh Đồng Nai được thể hiện trong bản đồ Hình 1. Vị trí lấy mẫu tại phường Long Bình ($10^{\circ}56'34,7''\text{N}$; $106^{\circ}52'30,6''\text{E}$) có tính đại diện cho CLKK của địa phương dưới tác động từ KCN. Điều kiện thời tiết khu vực có hai mùa rõ rệt là mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11) và mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau) [4, 8]. Do vậy, thời gian tiến hành lấy mẫu thực tế được tiến hành trong mùa mưa (15/10/2021 đến 25/10/2021) và mùa khô (15/3/2022 đến 25/3/2022).

Mẫu bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ được thu bằng thiết bị lấy mẫu thể tích lớn (high volume air sampler - HVAS, E-1000DBLX, Tisch Environment, Inc.). Tốc độ dòng hút được thiết lập và duy trì ổn định ở mức 200 L/phút. Giấy lọc bắt mẫu làm bằng vật liệu Quartz, đường kính 102 mm. Thiết bị HVAS đặt trên nóc nhà mái bằng, có độ cao 12 m so với mặt đất, xung quanh không có vật chắn gây ảnh hưởng quá trình thu mẫu. Thời gian thu mẫu được cài đặt tự động, bắt đầu từ khoảng 6h00 sáng đến 5h50 ngày hôm sau. Các mẫu được lấy liên tục tạo thành mẫu bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ theo ngày.

Quản lý ký hiệu mẫu bụi mịn PM_{2.5} bao gồm: địa điểm phường Long Bình (LB), mùa mưa (R), mùa khô (D) và số thứ tự ngày lấy mẫu.

Thí dụ: ký hiệu mẫu LBD-8, là mẫu bụi mịn PM_{2.5} được lấy tại phường Long Bình, vào mùa khô, ngày lấy mẫu thứ 8 trong chu kỳ lấy mẫu.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Phương pháp phân tích đặc tính hóa lý của bụi mịn PM_{2.5}

Giấy lấy mẫu bụi được sấy khô ở nhiệt độ 110 °C. Sau khi thu mẫu, giấy lấy mẫu có chứa mẫu bụi được bảo quản trong hộp đựng petri thủy tinh chuyên dụng, chuyên về phòng thí nghiệm và sấy ở nhiệt độ 110 °C trước khi cân trọng lượng bằng thiết bị cân Mettler Toledo XS205, có thang đọc kết quả 10⁻⁶ mg, ở nhiệt độ phòng thí nghiệm 25 °C. Kết quả nồng độ bụi được tính bằng công thức sau:

$$C = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (1)$$

Trong đó:

C: nồng độ bụi (µg/m³);

M₁: khối lượng giấy lọc trước khi lấy mẫu (µg);

M₂: khối lượng [giấy lọc + bụi PM_{2.5}] sau khi lấy mẫu (µg);

V: tổng thể tích dòng khí lấy mẫu trong suốt thời gian lấy mẫu (m³).

Quy trình phân tích được thực hiện theo tiêu chuẩn kỹ thuật bởi Cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ (U.S. EPA) IO-3.5 (<https://www.epa.gov/esam/epa-io-inorganic-compendium-method-io>

35-determination-metals-ambient-particulate-matter-using). Một phân tử (1/4) giấy mẫu được cắt thành các mảnh nhỏ để chiết xuất bằng hóa chất chuyên dụng. Mẫu được lắc đều bằng máy khuấy từ trong 30 phút với 25 mL axit nitric 0,01 M (TraceSELECT™, dành cho phân tích vết, ≥ 69,0%, Honeywell Fluka™) ở pH=2. Sau đó cho các dung dịch chiết xuất qua bộ lọc cellulose axetat 0,2 µm (Minisart® Sartorius, Đức). Nồng độ các chất trong mẫu trắng được phân tích song song với mẫu đã được lấy sau khi chiết. Dung dịch hiệu chuẩn được chuẩn bị bằng cách pha loãng dung dịch gốc tăng cường phòng thí nghiệm một nguyên tố (SPEX CertiPrep, Hoa Kỳ) trong axit nitric 0,01 M. Iridi được chọn làm chất chuẩn nội để phân tích nồng độ vết các kim loại. Một mililit Iridi (100 ppb) được thêm vào 9 mL mẫu, chất chuẩn hiệu chuẩn và vật liệu tham chiếu được chứng nhận trước khi phân tích bằng phép đo khối phổ plasma kết hợp cảm ứng (ICP-MS; iCAP-RQ, Thermo Science, Mỹ). Các ống ly tâm bằng polypropylene được sử dụng để chiết xuất và bảo quản các dịch chiết đã lọc được xử lý trước bằng cách ngâm trong dung dịch HNO₃ 1,54 M trong ít nhất 48 giờ, rửa sạch bằng nước siêu tinh khiết và sấy khô.

2.3. Trích xuất nguồn và quỹ đạo di chuyển của bụi mịn PM_{2.5} bằng mô hình HYSPLIT

Để xác định các dạng nguồn thải chính và quỹ đạo di chuyển của hạt mịn PM_{2.5}, phương pháp phân tích quỹ đạo ngược được tiến hành tại vị trí trung tâm bằng mô hình NOAA - HYSPLIT (*The Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*). HYSPLIT là mô hình mã nguồn mở, chạy trực tiếp trên nền OPENair. Các câu lệnh (code) để chạy mô hình được thực hiện trên phần mềm SplitR trong Rstudio (được tích hợp với phần mềm HYSPLIT). Quỹ đạo lùi được truy ngược trong 96 giờ, được tính toán ở bước lùi 3 giờ tại LB ở độ cao 100 m. Phân tích quỹ đạo theo trọng số nồng độ (*concentration-weighted trajectory - CWT*) đã được sử dụng để hiểu các nguồn ô nhiễm tiềm năng. Nồng độ trung bình của một loại chất ô nhiễm (hoặc CWT) được tính toán theo công thức (2) như sau:

$$\ln(C_{ij}) = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \tau_{ijk}} \ln(C_k) \tau_{ij} \quad (2)$$

Trong đó: i và j là các tham số của ô lưới; k là chỉ số của quỹ đạo; n là tổng số quỹ đạo; C_k là nồng độ PM_{2.5} được đo khi đến quỹ đạo k và τ_{ijk} là nơi cư trú thời gian của quỹ đạo k trong ô lưới (i, j) . Giá trị của C_{ij} càng cao, nồng độ tại vị trí tiếp nhận khi các gói không khí đi qua ô lưới (i, j) càng cao [9].

2.4. Phương pháp đánh giá rủi ro sức khỏe cộng đồng

Tổng mức tiếp xúc qua đường hô hấp với các chất có hại, trong trường hợp này là các KLN trong bụi PM_{2.5}, được ước tính theo công thức (3) như sau:

$$EC_i = \frac{CA_i \times ET \times ED}{AT} \quad (3)$$

Trong đó: EC_i là nồng độ tiếp xúc của KLN i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); CA_i là nồng độ của KLN i trong môi trường không khí ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); ET là thời gian phơi nhiễm (ước tính 8 giờ/ngày); ED là độ dài thời gian phơi nhiễm (40 năm đối với người lớn * 365 ngày/năm), AT là thời gian trung bình (tuổi thọ 75 năm) * 365 ngày/năm * 24 giờ/ngày) (75 tuổi thọ trung bình của dân số Việt Nam năm 2018 (<https://data.worldbank.org/indicator/>

SP.DYN.LE00.IN?locations%20=VN&view=c hart). Nguy cơ sức khỏe không gây ung thư được đánh giá theo công thức (4) và (5):

$$HQ_i = \frac{EC_i}{RfC_i \times 1000} \quad (4)$$

$$HI = \sum HQ_i \quad (5)$$

Trong đó: RfC_i là nồng độ tham chiếu cho nguyên tố i - giá trị độc tính khi hít phải (mg/m^3), HQ_i là chỉ số nguy hiểm của nguyên tố i .

Nguy cơ ung thư của các KLN hòa tan khi thâm nhập vào cơ thể qua đường hô hấp được ước tính theo công thức (6) và (7):

$$R_i = EC_i \times IUR_i \quad (6)$$

$$TCR = \sum R_i \quad (7)$$

Trong đó: IUR_i là nguy cơ đơn vị hít phải của nguyên tố gây ung thư i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), và R_i là nguy cơ gây ung thư của nguyên tố i . Tổng tác động sức khỏe (HI) là tổng HQ của tất cả các KLN tính đến. Thuật ngữ HI được sử dụng như một chỉ số cho các tác động bất lợi mãn tính đối với sức khỏe, ngoại trừ ung thư. Dựa trên phương pháp này, giá trị HI thấp hơn 1 cho thấy ÔNKK có rủi ro dài hạn tối thiểu đối với sức khỏe con người, trong khi HI cao hơn 1 có nghĩa là có khả năng xảy ra các bệnh mãn tính [10, 11]. Thuật ngữ nguy cơ ung thư tổng thể (TCR) định lượng nguy cơ ung thư do tiếp xúc với KLN và được phân loại thành 5 mức độ, bao gồm: rất thấp ($TCR \leq 10^{-6}$), thấp ($10^{-6} \leq TCR \leq 10^{-4}$), trung bình ($10^{-4} \leq TCR \leq 10^{-3}$), cao ($10^{-3} \leq TCR \leq 10^{-1}$) và rất cao ($TCR \geq 10^{-1}$) [12].

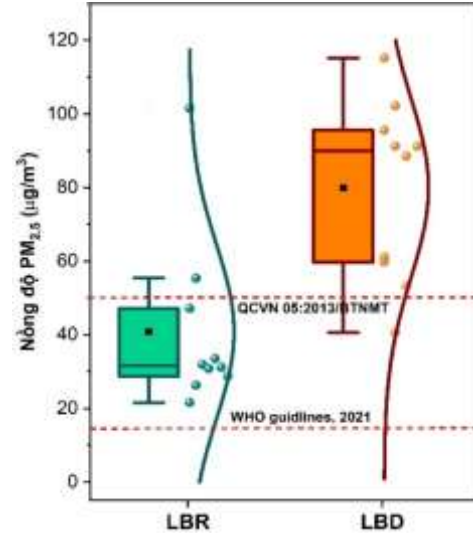
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng nồng độ bụi mịn PM_{2.5} tại khu công nghiệp Long Bình, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai

Kết quả nồng độ bụi mịn PM_{2.5} (được liệt kê trong Bảng 1) cho thấy mùa khô có giá trị cao hơn nhiều so với mùa mưa (Hình 2). Đây cũng là quy luật phổ biến đối với CLKK ở Việt Nam [1]. Giá trị nồng độ bụi mịn PM_{2.5} vào mùa mưa và mùa khô tương ứng là $40,9 \pm 23,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và $79,9 \pm 24,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Như vậy, nồng độ PM_{2.5} tại

khu vực nghiên cứu đều vượt quá giá trị khuyến cáo của Tổ chức Y tế thế giới (*World Health Organization - WHO*) với giá trị trung bình ngày là $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [13]. Tuy nhiên khi so sánh với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia hiện hành về CLKK xung quanh (QCVN05:2013/BTNMT) thì hầu hết các ngày quan trắc trong mùa khô có nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ vượt quá giá trị giới hạn ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Chỉ có ngày lấy mẫu thứ hai có giá trị thấp hơn giá trị giới hạn trong QCVN05:2013/BTNMT (LBD-2 = $40,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Trong khi đó chỉ có hai ngày lấy mẫu trong mùa mưa có giá trị nồng độ bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ cao hơn QCVN05:2013/BTNMT (LBD-4 = $101,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$; LBD-7 = $55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Xu hướng diễn biến nồng độ bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ theo mùa tại BHC cũng được trình bày bởi một số nghiên cứu có liên quan từ Hưng và cộng sự (2020) [8], Huy và cộng sự (2018) [14] và Yining và cộng sự (2019) [15]. Nguyên do có thể khiến nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ thấp hơn trong mùa mưa là

do độ ẩm trong khí quyển cao hơn và quá trình lắng đọng ướt diễn ra phổ biến hơn [4, 8, 16].



Hình 2. Diễn biến nồng độ bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ tại KCN Long Bình, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

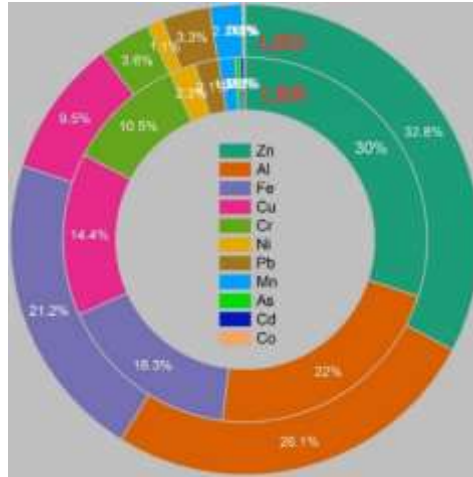
Bảng 1. Tổng hợp các số liệu quan trắc, phân tích nồng độ bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$, các kim loại nặng ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) và các chỉ tiêu đánh giá rủi ro sức khỏe cộng đồng tại phường Long Bình, BHC, tỉnh Đồng Nai

Các chỉ tiêu quan trắc, phân tích		Mùa mưa (LBR)	Mùa khô (LBD)
Nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	47,2	59,8
	2	21,6	40,7
	3	26,4	95,6
	4	101,6	115,2
	5	32,0	91,3
	6	30,8	88,6
	7	55,4	91,2
	8	33,6	61,2
	9	31,2	53,4
	10	28,8	102,2
		Average	$40,9 \pm 23,6$
Nồng độ các kim loại nặng trong bụi $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al	$0,58 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,13$
	Cu	$0,38 \pm 0,2$	$0,12 \pm 0,14$
	Ni	$0,06 \pm 0,07$	$0,01 \pm 0,01$
	Co	$0,003 \pm 0,002$	$0,0005 \pm 0,0003$
	Mn	$0,04 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$
	Cr	$0,28 \pm 0,17$	$0,05 \pm 0,03$
	As	$0,01 \pm 0,01$	$0,001 \pm 0,0003$
	Zn	$0,79 \pm 0,20$	$0,41 \pm 0,16$
	Pb	$0,06 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,03$
	Cd	$0,008 \pm 0,015$	$0,001 \pm 0,0005$
	Fe	$0,43 \pm 0,18$	$0,27 \pm 0,18$
Mức độ rủi ro sức khỏe và khả năng ung thư	HI	$0,962 \pm 0,638$	$0,150 \pm 0,062$

3.2. Thành phần hóa học của bụi mịn $PM_{2.5}$

Nồng độ trung bình của các KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ được liệt kê trong Bảng 1. Hình 3 trình bày tỷ lệ (%) nồng độ trung bình của mười một (11) nguyên tố KLN (bao gồm: As, Pb, Mn, Fe, Cd, Cr, Zn, Co, Al, Cu, và Ni) trong các mẫu bụi mịn $PM_{2.5}$. Nhìn chung, nồng độ các nguyên tố

KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ vào mùa khô cao hơn nồng độ chính nguyên tố đó trong mùa mưa. Nồng độ các nguyên tố KLN như As, Co, Cr và Cd trong $PM_{2.5}$ ở mùa khô cao hơn tương ứng 12,5; 7,8; 6,1 và 5,6 lần. Tỷ lệ phần trăm đóng góp các nguyên tố KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ vào mùa khô lần lượt là $Zn > Al > Fe > Cu > Cr > Ni > Pb > Mn > As > Cd > Co$.



Hình 3. Tỷ lệ (%) nồng độ trung bình của các KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ tại KCN Long Bình, thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

Trong mùa mưa, tỷ lệ nồng độ các nguyên tố KLN cũng có vị trí tương tự, tuy nhiên 2 nguyên tố Ni và Pb hoán đổi vị trí cho nhau. Nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ cũng như nồng độ các nguyên tố KLN trong đó có sự thay đổi theo mùa chủ yếu có thể là do sự thay đổi về các điều kiện khí tượng học. Ví dụ, điều kiện nhiệt độ và gió có thể ảnh hưởng đến độ cao của lớp ranh giới, cho phép các chất ô nhiễm phân tán hoặc tích tụ [4]. Tương tự như vậy, độ ẩm không khí cao và lượng mưa trong mùa mưa cũng là nguyên nhân dẫn đến sự lắng đọng hạt diễn ra mạnh hơn [8, 16]. Ngoài ra, sự vận chuyển từ xa của các nguồn ô nhiễm cũng có thể góp phần làm tăng nồng độ chất ô nhiễm cục bộ, ảnh hưởng đến nồng độ KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ [5, 8, 14].

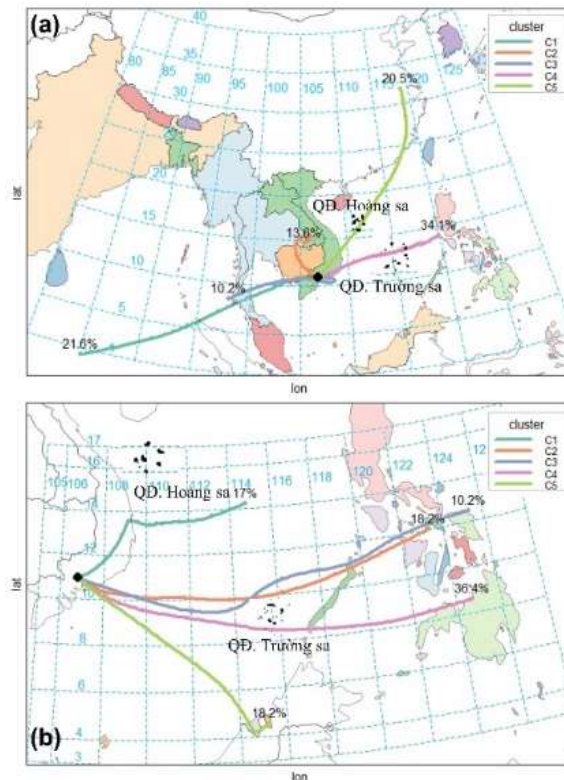
3.3. Nguồn và quỹ đạo di chuyển bụi mịn $PM_{2.5}$ đến khu vực nghiên cứu

Mô hình HYSPLIT trích xuất quỹ đạo di chuyển hạt bụi mịn $PM_{2.5}$ trong mùa mưa

(15/10/2021 đến 25/10/2021) và mùa khô (15/3/2022 đến 25/3/2022) đến khu vực nghiên cứu được thể hiện tương ứng trong Hình 4a và Hình 4b. Theo đó, nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ có ảnh hưởng nhất định theo chế độ gió mùa. Trong mùa mưa (Hình 4a), tần suất hướng ô nhiễm chính xuất phát từ phía Đông (cụm khối khí C4, chiếm ~34%), từ các quần đảo thuộc Philippines vượt qua biển Đông vào BCH. Theo kết quả trích xuất từ mô hình HYSPLIT, cụm khối khí này (C4) có khả năng mang bụi $PM_{2.5}$ với mức đóng góp trung bình là $37,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Các nguồn ô nhiễm phía Đông Bắc thuộc vùng bờ biển của Trung Quốc, Đài Loan cũng có đóng góp đáng kể (cụm khối khí C5, tần suất khoảng 20%) dù có khoảng cách khá xa khu vực nghiên cứu. Cụm khối khí di chuyển này đóng góp nồng độ bụi $PM_{2.5}$ khoảng $32,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nguồn đóng góp lớn nồng độ bụi $PM_{2.5}$ ($101,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ở khu vực BCH trong thời gian lấy mẫu là cụm khối khí C2 (tần suất 13,6 %) xuất phát trong đất liền thuộc các quốc

gia Lào, Thái Lan và Campuchia, sau đó vượt qua biển Đông vào BHC. Trong khi đó nguồn ô nhiễm do các nguồn thải trên biển phía Tây Nam cũng cần chú ý (cụm khối khí C1, tần suất khoảng 21%). Trong mùa khô (Hình 4b), xu thế các nguồn ô nhiễm phía Đông của BHC có đóng

góp chính. Các hoạt động chủ yếu xuất phát từ khu vực đường bờ hoặc trên biển. Kết quả nghiên cứu phù hợp với các luận điểm đã được trình bày bởi Hung và cộng sự (2020) [8], Hien và cộng sự (2022) [16], Huy và cộng sự (2018) [14].



Hình 4. Quỹ đạo di chuyển bụi mịn $PM_{2.5}$ đến khu vực nghiên cứu trong mùa mưa (a) và mùa khô (b) trích xuất bằng mô hình HYSPLIT.

3.4. Đánh giá rủi ro sức khỏe cộng đồng bởi thành phần các kim loại nặng trong bụi mịn $PM_{2.5}$

Trong nghiên cứu này, việc đánh giá rủi ro sức khỏe tập trung vào sáu nguyên tố KLN được xem là tác nhân gây ung thư, bao gồm: As, Cd, Cr, Pb, Co và Ni. Để đánh giá rủi ro sức khỏe ở mức độ cao nhất nhóm nghiên cứu đã đánh giá tất cả nồng độ của Cr đều tồn tại ở dạng Cr(VI), đây là dạng Cr có ảnh hưởng lớn đến sức khỏe [17].

Giá trị HI trong mùa mưa và mùa khô lần lượt là $0,15 \pm 0,06$ và $0,96 \pm 0,64$; Giá trị TCR trong mùa mưa và mùa khô lần lượt là $10^{-4} \pm 6,6 \times 10^{-5}$ và $7,9 \times 10^{-4} \pm 5,6 \times 10^{-4}$. Nhìn chung, giá

trị HI duy trì dưới 1 cho tất cả các mẫu. Điều này cho thấy rủi ro thấp dẫn đến các tác động xấu mãn tính đến sức khỏe [17]. Tuy nhiên, đối với nguy cơ ung thư, tất cả các giá trị TCR (nằm trong khoảng $10^{-4} \leq TCR \leq 10^{-3}$) đều vượt quá ngưỡng khuyến nghị rất nhiều (ở mức 10^{-6}). Giá trị TCR trong nghiên cứu này cũng cao hơn so với giá trị tính toán được ở Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh lần lượt là $0,72 \times 10^{-5}$ và $1,18 \times 10^{-5}$ [18]. Kết quả tổng thể cho thấy nguy cơ ung thư ở mức vừa phải do tiếp xúc đường hô hấp trong thời gian dài phơi nhiễm với KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ [10, 11]. Đóng góp chính làm cho giá trị TCR cao do nồng độ Cr cao trong nhóm các

nguyên tố KLN có khả năng gây ung thư được xem xét. Điều này đồng ý với các nghiên cứu trước đây cho rằng Cr(VI) là một trong những nguyên tố hòa tan có nguy cơ gây ung thư cao nhất [19, 20]. Đề cương cố được các thông tin khoa học chắc chắn hơn cần tiến hành thêm các đánh giá chuyên sâu về độc học môi trường.

4. Kết luận

Tổng cộng có hai mươi mẫu bụi mịn $PM_{2.5}$ thu được tại khu vực có sự phân bố nhiều KCN lớn nhất tỉnh Đồng Nai (phường Long Bình, BHC) trong mùa khô và mùa mưa. Nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ trong mùa khô vượt quy chuẩn quốc gia (QCVN 05:2013/BTNMT). Nguồn đóng góp bụi mịn $PM_{2.5}$ được tiên lượng từ giao thông đô thị, công nghiệp và tàu thuyền trên biển. Mức độ rủi ro về sức khỏe ở mức thấp với giá trị HI trong mùa mưa và mùa khô đều thấp hơn 1. Tuy nhiên giá trị TCR trong mùa mưa ($10^{-4} \pm 6,6 \times 10^{-5}$) và mùa khô ($7,9 \times 10^{-4} \pm 5,6 \times 10^{-4}$) cho thấy các nguyên tố KLN trong bụi mịn $PM_{2.5}$ đã vượt quá ngưỡng khuyến nghị và có khả năng gây ung thư đối với cộng đồng tiếp xúc lâu dài với CLKK trong khu vực nghiên cứu. Tuy vậy đây là phần tính toán mà nhiều thông tin được sử dụng là số liệu từ ước tính hoặc từ công bố khác. Do vậy để kết quả có độ tin cậy, tính chính xác cao hơn cần có thêm các nghiên cứu chuyên sâu về độc học môi trường tại khu vực này. Kết quả bài báo là những thông tin khoa học có giá trị đối với các nhà quản lý, hoạch định chính sách quản lý môi trường và nâng cao nhận thức cộng đồng dân cư đối với CLKK địa phương.

Tài liệu tham khảo

- [1] MONRE 2016-2020 National Environmental Assessment Report; Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, Hanoi, Vietnam, 2021.
- [2] QAir Air Quality and Pollution City Ranking, <https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking> (accessed on: March 8th, 2023).
- [3] B. D. Linh, H. A. Le, N. X. Truong, Physico-chemical Properties and Transboundary Transport of $PM_{2.5}$ in Bien Hoa City, Dong Nai Province, Southeastern Vietnam, *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, pp. 1-12, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24801-z>.
- [4] B. D. Linh, H. A. Le, N. X. Truong, N. V. Thanh, N. T. Nang, N. N. Hung, Evaluation of Mass Concentration and Size Distribution of Fine Particles ($PM_{2.5}$) in Bien Hoa City, Dong Nai Province VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 38, No. 3, 2022, pp. 93-100, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.4862>.
- [5] B. D. Linh, H. A. Le, N. Q. Khoi, N. X. Truong, Chemical Characterization, Source Apportionment, and Health Risk Assessment Nexus of $PM_{2.5}$ -bound Major Heavy Metals in Bien Hoa City, Southern Vietnam, *Atmospheric Environment: X*, Vol. 17, 2023, pp. 100209, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2023.100209>.
- [6] D. N. P. P. S. Committee Top Five Largest Industrial Parks in Bien Hoa City; Dong Nai Provincial People's Committee, Dong Nai, Vietnam, 2019.
- [7] L. T. T. Thao, N. T. Q. Hung, Building Research and Adjustment Zoning to Receiving Industrial Emission in Dong Nai Province, *Journal of Agricultural Science and Technology (Nong Lam University)*, Vol. 2, 2016, pp. 66-76.
- [8] N. T. Hung, I. I. Kosinova, D. T. L. Anh, Modeling Air Pollution in Dong Nai Province, Vietnam, *Geography, Environment, Sustainability*, Vol. 3, No. 2, 2020, pp. 166-174, <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-44>.
- [9] D. Carslaw, The Openair Manual-Open-Source Tools for Analysing Air Pollution Data, Manual for Version, Vol. 1, No. 4, 2015, pp. 1-4.
- [10] Z. Na, L. Jingshuang, W. Qichao, L. Zhongzhu, Health Risk Assessment of Heavy Metal Exposure to Street Dust in the Zinc Smelting District, Northeast of China, *Science of the Total Environment*, Vol. 408, No. 4, 2010, pp. 726-733, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.075>.
- [11] M. Vishnu, S. Nandita, R. Rohit, S. Nandita, B. Tirthankar, Source Apportionment and Health Risk Assessment of Airborne Particulates Over Central Indo-gangetic Plain, *Chemosphere*, Vol. 257, 2022, pp. 127145, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127145>.
- [12] Z. Xi, E. Yuko, A. Masahide, Risk Assessment and Management of $PM_{2.5}$ -bound Heavy Metals in the Urban Area of Kitakyushu, Japan, *Science of the Total Environment*, Vol. 795, 2021, pp. 148748, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148748>.
- [13] WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), Ozone, Nitrogen

- Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed on: March 8th, 2023).
- [14] D. H. Huy, N. C. D. Thien, N. S. P. Ly, T. T. Hien, Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) in Ho Chi Minh City: Analysis of the Status and the Temporal Variation Based on the Continuous Data from 2013-2017, *Science and Technology Development Journal - Natural Sciences*, Vol. 2, No. 5, 2018, pp. 130-137, <https://doi.org/10.32508/stdjns.v2i5.788>.
- [15] M. Yining, X. Jinyuan, Z. Wenyu, L. Zirui, M. Yongjing, K. Lingbin, W. Yuesi, D. Yun, L. Shuheng, H. Zhiming, Long-term Variations of the PM_{2.5} Concentration Identified by MODIS in the Tropical Rain Forest, Southeast Asia, *Atmospheric Research*, Vol. 219, 2019, pp. 140-152, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.024>.
- [16] T. T. Hien, N. D. T. Chi, D. H. Huy, H. A. Le, D. E. Oram, G. L. Forster, G. P. Mills, A. R. Baker, Soluble Trace Metals Associated with Atmospheric Fine Particulate Matter in the Two Most Populous Cities in Vietnam, *Atmospheric Environment: X*, Vol. 15, 2022, pp. 100178, <https://doi.org/10.1016/j.aeoa.2022.100178>.
- [17] IARC International Agency for Research on Cancer (IARC): Agents Classified by the IARC Monographs, Vol. 1-111 (online).
- [18] T. T. Hien, D. H. Huy, P. A. Dominutti, N. D. T. Chi, J. R. Hopkins, M. Shaw, G. Forster, G. Mills, H. A. Le, D. Oram, Comprehensive Volatile Organic Compound Measurements and Their Implications for Ground-level Ozone Formation in the Two Main Urban Areas of Vietnam, *Atmospheric Environment*, Vol. 269, 2022, pp. 118872, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118872>
- [19] K. Efthalia, K. Athanasios, S. Constantini, Indoor Concentrations of PM_{2.5} and Associated Water-Soluble and Labile Heavy Metal Fractions in Workplaces: Implications for Inhalation Health Risk Assessment, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28, No. 42, 2021, pp. 58983-58993, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07584-8>.
- [20] G. N. A. Giorgiana, O. R. Iulian, A. Cecilia, Size-resolved Measurements of PM_{2.5} Water-soluble Elements in Iasi, North-eastern Romania: Seasonality, Source Apportionment and Potential Implications for Human Health, *Science of the Total Environment*, Vol. 695, 2019, pp. 133839, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133839>.