

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Bùi Duy Linh

NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ ĐẶC ĐIỂM CỦA BỤI MỊN
TRONG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ TẠI KHU VỰC
BIÊN HÒA – TỈNH ĐỒNG NAI

Chuyên ngành: Khoa học môi trường

Mã số: 9440301.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ
KHOA HỌC MÔI TRƯỜNG

HÀ NỘI - 2025

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên,
Đại học Quốc Gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS. Hoàng Anh Lê
2. TS. Nghiêm Xuân Trường

Phản biện: GS.TS. Vũ Đức Toàn
Trường Đại học Thủy lợi

Phản biện: PGS.TS. Nguyễn Đức Lượng
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Phản biện: PGS.TS. Lê Thanh Sơn
Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện
HLKH&CNVN

Luận án đã được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ
hợp tại: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
vào hồi: 9 giờ 00 phút, ngày 13 tháng 11 năm 2025

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thư viện và Tri thức số, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài luận án

Tình trạng ô nhiễm môi trường (ÔNMT) nói chung, ô nhiễm không khí (ÔNKK) nói riêng là vấn đề môi trường nan giải, xảy ra ở hầu khắp quy mô toàn cầu, không ngoại trừ là nước nghèo hay quốc gia giàu có. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) đưa ra thống kê có đến hơn 90% dân số thế giới hiện đang phải sống trong bầu không khí bị ô nhiễm, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe và chất lượng cuộc sống.

Ngày nay, nguồn và tính chất vật lý của các hạt bụi mịn (kích thước, hình dạng, kết cấu) đã và đang được chú trọng nghiên cứu để tìm hiểu về tác động của chúng đối với môi trường và sức khỏe con người. Gần đây, các nhà khoa học còn phát hiện ra những tác động của các hạt sol khí phụ thuộc rất nhiều vào kích thước hạt của nó, hạt càng nhỏ càng có mức tác động lớn đến sức khỏe con người. Tuy nhiên, rất ít các nghiên cứu về phân bố cấp hạt và đặc biệt chưa có các nghiên cứu về hình thái hạt. Hiện nay, với sự hỗ trợ của khoa học kỹ thuật, các nhà khoa học trên thế giới đã và đang có nhiều nghiên cứu chuyên sâu hơn bằng các công cụ hiện đại như chụp và phân tích mẫu bụi bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (*Scanning Electron Microscopy - SEM*) cho các kết quả về cấp độ hạt, hình thái và kết cấu của hạt ở độ phân giải cao và đáng tin cậy hơn. Thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai nằm ở khu vực Đông Nam Bộ nước ta là nơi tập chung rất nhiều các khu công nghiệp (KCN) lớn nhỏ khác nhau; vị thế địa lý lại nằm giáp ranh với thành phố lớn như thành phố Hồ Chí Minh ngày nay nên chất lượng không khí (CLKK) chắc chắn đã bị ảnh hưởng. Trong thời gian gần đây, nhiều dự án đã và đang được tiến hành với mục tiêu tẩy độc chất độc màu da cam tại căn cứ quân sự sân bay Biên Hòa cũng phần nào làm phát tán bụi và sol khí vào môi trường với các kích thước lớn nhỏ khác nhau. Xuất phát từ các lý do nêu trên, tôi đã lựa chọn đề tài ***“Nghiên cứu diễn biến và đặc điểm của bụi mịn trong môi trường không khí tại khu vực Biên Hòa - Tỉnh Đồng Nai”***

2. Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

2.1. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chính của Luận án: Nghiên cứu được diễn biến và các đặc điểm hóa - lý của bụi $PM_{2.5}$ trong môi trường không khí trên địa bàn thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

Để đạt được mục tiêu chính nêu trên, một số *mục tiêu cụ thể* của Luận án được đặt ra như sau:

- Xác định được diễn biến nồng độ bụi $PM_{2.5}$ theo thời gian và không gian trong không khí trên địa bàn thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.
- Phân tích được các đặc trưng hóa - lý (*nồng độ, phân bố cấp hạt, các nguyên tố, các ions*) của bụi $PM_{2.5}$.
- Ứng dụng công cụ mô hình hóa (*mô hình HYSPLIT, PMF*) để mô phỏng được quỹ đạo di chuyển và xác định cụ thể các nguồn thải tiềm năng đóng góp lượng bụi $PM_{2.5}$ đến CLKK khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

2.2. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của Luận án là bụi $PM_{2.5}$ trong môi trường không khí xung quanh ở khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

2.3. Phạm vi nghiên cứu

- *Phạm vi địa lý:* Khu vực nghiên cứu được thực hiện trên địa bàn thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.
- *Phạm vi thời gian:* Thời gian nghiên cứu của Luận án được thực hiện từ 2020 đến 2024.
- *Phạm vi đặc tính hóa học của $PM_{2.5}$:* Luận án tập trung xác định thành phần hóa học, bao gồm các nguyên tố và ions có trong bụi $PM_{2.5}$ trong môi trường không khí xung quanh ở khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Luận án đã hoàn thiện, bổ sung cơ sở khoa học cho việc xác định mức độ ô nhiễm của bụi $PM_{2.5}$, thành phần vật lý, tính chất hóa học và góp phần đóng góp định danh nguồn thải vào nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trong môi trường không khí. Ngoài ra luận án đã tính toán và đưa ra được cảnh báo ảnh hưởng của bụi $PM_{2.5}$ đối với sức khỏe con người đang sinh sống trên địa bàn khu vực nghiên cứu.

Qua đó, luận án đã góp phần vào việc triển khai nghiên cứu toàn diện hơn đối với bụi PM_{2.5} trong môi trường không khí, góp phần hoạch định chính sách quản lý, nâng cao CLKK sạch tại khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

4. Các đóng góp mới của luận án

Kết quả nghiên cứu của Luận án “*Nghiên cứu diễn biến và đặc điểm của bụi mịn trong môi trường không khí tại khu vực Biên Hòa - Tỉnh Đồng Nai*” được hoàn thành với một số đóng góp mới như sau:

- Luận án đã ứng dụng thành công kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy - SEM) để mô tả đặc trưng hình thái và kích thước của các hạt trong bụi mịn PM_{2.5}.
- Phân tích được đặc trưng về thành phần hóa học của bụi PM_{2.5} để ứng dụng thành công công cụ mô hình hóa (*HYSPLIT, PMF*) nhằm mô phỏng quỹ đạo di chuyển và xác định cụ thể các nguồn đóng góp lượng bụi PM_{2.5} đến CLKK khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

5. Bố cục của luận án

Luận án bao gồm 156 trang, 15 bảng, 48 hình, 194 tài liệu tham khảo và 12 Trang phụ lục. Bố cục của Luận án bao gồm 3 chương (*không kể phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và phụ lục*); Cụ thể: **Chương 1:** Trình bày tổng quan chung về hiện trạng ô nhiễm không khí bởi bụi PM_{2.5} đã được nghiên cứu ở trong và ngoài nước, các đặc trưng về hóa-lý của bụi PM_{2.5}; **Chương 2:** Trình bày các phương pháp nghiên cứu được sử dụng để hoàn thành nội dung Luận án; và **Chương 3:** Kết quả nghiên cứu đã được thực hiện của Luận án;

Chương 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1 Tổng quan về hiện trạng và các đặc trưng của bụi mịn PM_{2.5}

Theo *Tổng cục Môi trường - Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam [1]*:

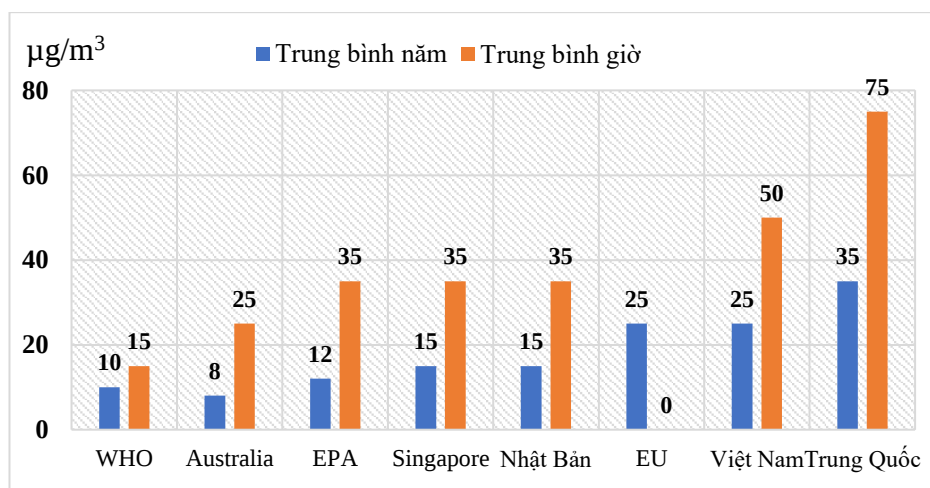
Bụi là tên chung cho các hạt chất rắn và hạt lỏng có đường kính nhỏ cỡ vài micrômét đến nửa milimét, tự lắng xuống theo trọng lượng của chúng nhưng vẫn có thể lơ lửng trong không khí một thời gian:

- Bụi lơ lửng tổng số (TSP): là các hạt bụi có đường kính động học ≤

100 μm .

- Bụi PM₁₀: là các hạt bụi có đường kính động học $\leq 10\mu\text{m}$.
- Bụi PM_{2.5}: là các hạt bụi có đường kính động học $\leq 2,5\mu\text{m}$
- Bụi PM_{1.0}: là các hạt bụi có đường kính động học $\leq 1\mu\text{m}$
- Bụi PM_{0.5}: là các hạt bụi có đường kính động học $\leq 0,5\mu\text{m}$
- Bụi PM_{0.1}: là các hạt bụi có đường kính động học $\leq 0,1\mu\text{m}$.

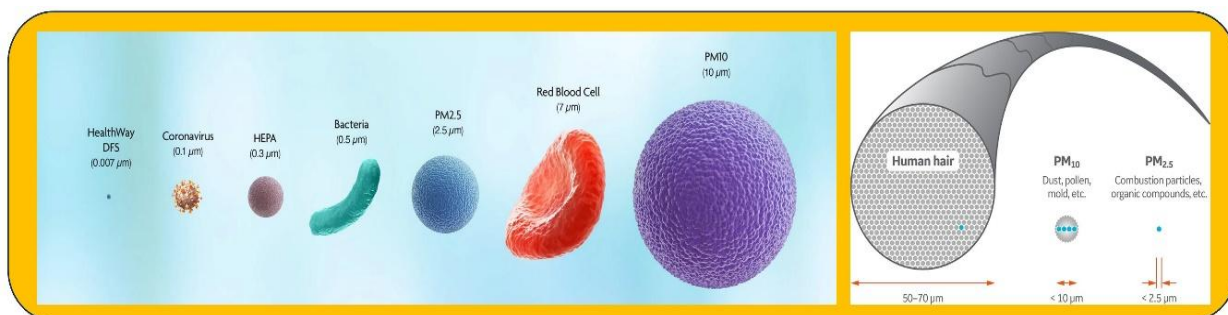
Trong quản lý nhà nước về môi trường, nồng độ bụi PM_{2.5} trong không khí được quản lý, đánh giá bằng các giá trị nồng độ tối đa cho phép. Quy định về các giá trị giới hạn nồng độ bụi (trung bình giờ và trung bình năm) trong không khí xung quanh của thế giới và Việt Nam được trình bày trong Hình 1.2. Quy định về giới hạn nồng độ bụi mịn ở Việt Nam chỉ thấp hơn Trung Quốc, nhưng cao hơn rất nhiều so với tiêu chuẩn các quốc gia khác, đặc biệt khi so sánh với giá trị khuyến cáo của WHO.



Hình 1.1: Quy định về giới hạn nồng độ bụi PM_{2.5} ở Việt Nam, một số quốc gia và các tổ chức khác trên thế giới.

Các hạt trong khí quyển có sự khác biệt về kích thước, thành phần và nguồn gốc. Hình 1.4 so sánh tương quan kích thước của hạt bụi PM_{2.5} đối với sợi tóc con người (50 - 70 μm) và các cấp độ hạt khác nhau. Đường kính của hạt cát biến vào khoảng 90 μm , lớn hơn gấp 9 lần kích thước hạt bụi PM₁₀, lớn hơn khoảng 40 lần so với kích thước hạt bụi PM_{2.5}. Kích thước hạt bụi PM_{2.5} nhỏ

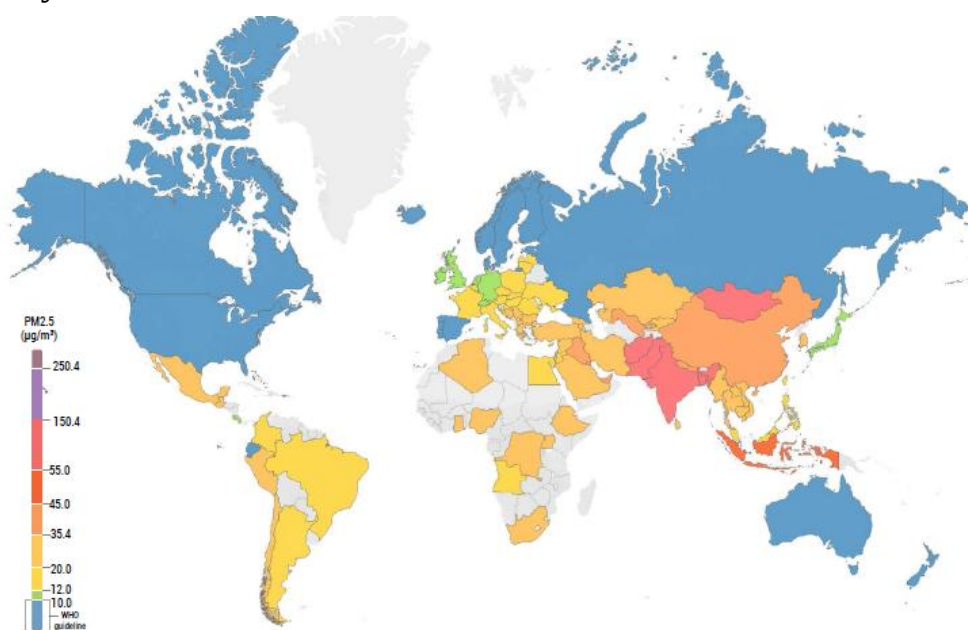
hơn 3 lần so với tế bào hồng cầu (khoảng $7\text{ }\mu\text{m}$) (Hình 1.4).



Hình 1.4: Tương quan về kích thước hạt của bụi $\text{PM}_{2.5}$ và các thành phần khác

1.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước về vấn đề ô nhiễm bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$

Theo WHO, hơn 90% dân số toàn cầu sống ở các khu vực vượt quá tiêu chuẩn $\text{PM}_{2.5}$, góp phần gây 4,58 triệu ca tử vong vào năm 2017. Mức phơi nhiễm trung bình theo quốc gia cho thấy Đông Á, Đông Nam Á và Nam Á có nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trung bình hàng năm cao nhất, trong đó Delhi (Ấn Độ) là $98,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ và Hà Nội (Việt Nam) là $46,9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nhìn chung, ô nhiễm bụi mịn chủ yếu tập trung ở các thành phố châu Á đông dân, thuộc các nước đang phát triển, điều này lý giải vì sao hầu hết nghiên cứu và công bố liên quan tập trung vào khu vực này.



Hình 1. 2: Bản đồ toàn cầu về nồng độ bụi $\text{PM}_{2.5}$ ước tính theo quốc gia / khu vực vào năm 2019

1.2.1. Các nghiên cứu trên thế giới

PM_{2.5} đã được xác định là một trong những thành phần chính trong không khí toàn cầu, thông số ô nhiễm trong giám sát CLKK với những tác động tiêu cực về sức khỏe con người và môi trường. Những tác động này là được cho là do sự vận chuyển tầm xa của PM_{2.5} và quỹ đạo di chuyển phức tạp của chúng [66, 96, 174], tính chất hóa lý của hạt bụi [66, 97], điều kiện khí tượng và điều kiện địa hình [98, 99]. Trong nghiên cứu tại 29 nước thuộc Châu Âu, tỷ lệ mắc các bệnh về đường hô hấp tăng 0,58% khi nồng độ PM₁₀ tăng thêm 10 µg/m³ trong khi tỷ lệ mắc bệnh về hô hấp do PM_{2.5} gây ra lại tăng đến 8% khi nồng độ của chất này tăng thêm 10 µg/m³ [176]. PM_{2.5} và PM₁₀ có khả năng làm tăng tỉ lệ bệnh tim mạch vành hơn là những chất ô nhiễm dạng khí, tỉ lệ tử vong do bệnh tim mạch vành từ PM_{2.5} và PM₁₀ tăng 12% khi tăng thêm 10 µg/m³ mỗi loại, nguy hiểm gấp 4 lần so với SO₂, 3 lần so với NO₂ và CO (carbon monoxide) và 2 lần đối với O₃ (ozone) [179]. Riêng PM_{2.5} làm tăng tỷ lệ mắc bệnh thiếu máu cơ tim lên 9,6% [182]. Theo ước tính, trên thế giới, 3% khả năng gây ung thư phổi và 5% dẫn đến tử vong là do bụi [12]. Trong khi đó các thành phần trên bụi, đặc biệt là các thành phần có độc tính cao sẽ làm gia tăng rủi ro đến sức khỏe con người. Theo Cơ quan nghiên cứu Ung thư Quốc tế (IARC) công bố: As, Cd và Cr (IV) là các nguyên tố thuộc nhóm 1 của tác nhân gây ung thư, Pb và Co được xếp vào nhóm có thể gây ung thư (nhóm 2A) và Ni thuộc nhóm 2B trong số các chất gây ung thư [101]. Trong nghiên cứu tại Nhật bản kết quả đánh giá sức khỏe con người tiết lộ thêm rằng trẻ em sống tại địa điểm lấy mẫu phải đối mặt với nguy cơ không gây ung thư nghiêm trọng (HI = 7,8) và nguy cơ gây ung thư vừa phải (CR = 1,2 × 10⁻⁴) và kết quả cho rằng rủi ro bởi ăn uống qua đường miệng là con đường phơi nhiễm quan trọng nhất, tiếp theo là tiếp xúc qua da và con đường hít thở từ đó đưa ra khuyến cáo là cần tăng cường kiểm soát nguồn kim loại có nguy cơ cao gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người [102].

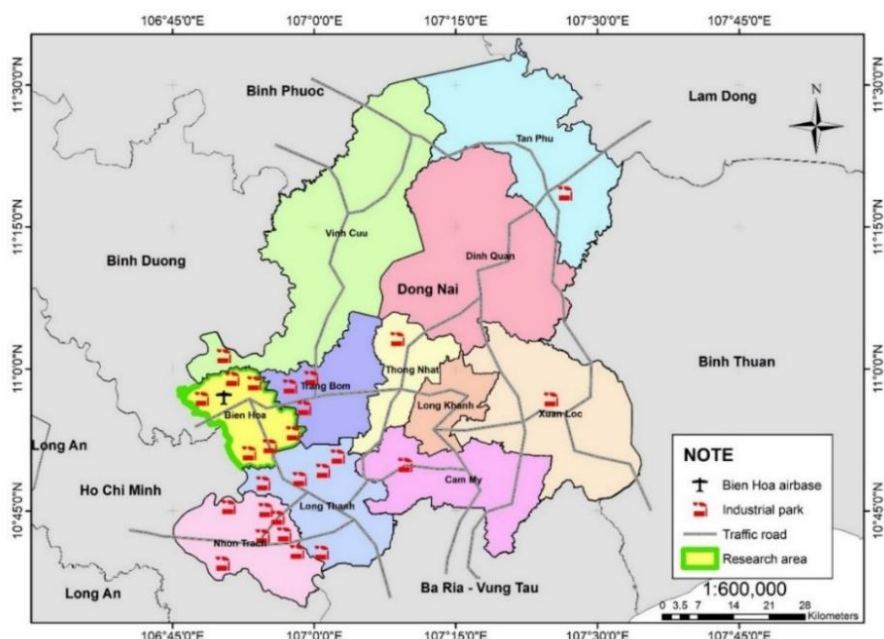
1.2.2. Các nghiên cứu ở Việt Nam

Việt Nam xếp thứ 21 trên thế giới về ô nhiễm bụi mịn năm 2020, với nồng độ PM_{2.5} trung bình năm là 28,1 µg/m³. Con số này gấp gần 1,15 lần giá trị

cho phép theo quy chuẩn Việt Nam (QCVN 05:2023) và gấp 2,8 lần mức khuyến nghị của WHO ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tại các thành phố lớn như Hà Nội, Huế, Đà Nẵng và TP.HCM đều ô nhiễm bụi mịn vượt quy chuẩn Việt Nam và hướng dẫn an toàn của WHO trong năm 2020 [2]. Đặc biệt vừa qua vào tháng 12/2023 Thành phố Hà Nội được ghi nhận là thành phố có chất lượng không khí ô nhiễm nhất thế giới mặc dù theo thống kê trước đó vào năm 2019 đứng thành phố chỉ đứng thứ 7 trên thế giới. Điều đó cho thấy mức độ ô nhiễm tại nước ta ngày càng nghiêm trọng và ảnh hưởng lớn đến sức khỏe con người. Hiện nay, ở Việt Nam đã có các trạm quan trắc tự động về chỉ số bụi $\text{PM}_{2.5}$ tuy nhiên các trạm này mới chỉ phản ánh được nồng độ bụi mịn tại các vị trí được đo mà chưa thể cho một cái nhìn chính xác về mức độ nguy hiểm của các hạt bụi đối với sức khỏe con người bởi các đặc tính hóa lý của các hạt bụi đó gây ra. Mức độ nguy hiểm của các hạt $\text{PM}_{2.5}$ được xác định bởi các tính chất vật lý và tính chất hóa học của chúng [3]. Tính chất vật lý bao gồm nồng độ, số lượng hạt, diện tích bề mặt, phân bố kích thước và hình thái học. Trong đó chỉ có nồng độ của bụi có thể sử dụng phương pháp đo trực tiếp còn lại các đặc điểm khác chúng đều phải sử dụng các phương pháp phù hợp để xác định. Các nghiên cứu về tính chất hóa học của bụi $\text{PM}_{2.5}$ hầu hết cũng được thực hiện hoàn toàn trong phòng thí nghiệm. Do đó, để nghiên cứu được toàn bộ đặc tính hóa lý của chúng thì lấy mẫu hiện trường là cần thiết.

1.3. Tổng quan về khu vực nghiên cứu

Biên Hòa là một thành phố công nghiệp, đồng thời là tỉnh lỵ của tỉnh Đồng Nai, nằm trong vùng Đông Nam Bộ, Việt Nam. Thành phố là đô thị loại I, đóng vai trò là đầu mối giao thông quan trọng của vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, với sông Đồng Nai chảy qua tạo điều kiện thuận lợi cho giao thông thủy và phát triển kinh tế – công nghiệp. Biên Hòa cách thủ đô cách trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh 30 km và cách thành phố Vũng Tàu (90 km) (*nay thuộc Thành phố Hồ Chí Minh*). Với vị trí địa lý chiến lược và là trung tâm hành chính, kinh tế và công nghiệp của tỉnh, Biên Hòa là một trong những thành phố trực thuộc tỉnh có dân số đông nhất cả nước, đồng thời là trung tâm thu hút các hoạt động sản xuất, thương mại và dịch vụ trong khu vực.



Hình 1.15. Bản đồ khu vực nghiên cứu

Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của Luận án là bụi mịn ($PM_{2.5}$) trong môi trường không khí xung quanh ở khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp quan trắc mẫu bụi $PM_{2.5}$

Sau khi khảo sát tình hình thực tế vị trí lấy mẫu được đặt trên nóc nhà dân ở độ cao khoảng 10m so với mặt đất các vị trí này đều thỏa mãn các yêu cầu về độ cao vị trí đặt mẫu, khoảng cách vật cản, khoảng cách đến các cây xung quanh và đặc biệt đảm bảo về độ an toàn của máy trong suốt thời gian thực hiện nghiên cứu. Lắp đặt thiết bị xong, thiết bị sẽ lấy mẫu theo từng ngày. Sau mỗi ngày lấy mẫu sẽ tiến hành thu mẫu và thay giấy lọc mới, liên tục như vậy cho tới khi kết thúc lấy mẫu. Trong quá trình lấy mẫu cần quan sát các điều kiện xung quanh ảnh hưởng tới việc lấy mẫu. Các mẫu bụi $PM_{2.5}$ được thu nhận bằng máy lấy mẫu bụi thể tích lớn TE-1000DBLX (Tisch Environment, Inc.) (Hình 2.2), tốc độ dòng khí hút vào 200 L/phút với tổng thể tích thu được dao động từ 250 m³/mẫu, chất liệu giấy lấy lọc Quartz đã được sử dụng để lấy mẫu.



Hình 2. 2: Máy lấy mẫu thể tích lớn TE -1000DBLX

2.2.2. Phương pháp xác định nồng độ bụi PM_{2.5}

Nồng độ bụi trung bình một ngày đêm (24h) được tính bằng công thức (2.1) như sau:

$$C = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (2.1)$$

Trong đó:

C: Nồng độ bụi trung bình một ngày đêm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

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 (m^3).

2.2.3. Phương pháp xác định phân bố cấp độ hạt trong mẫu bụi PM_{2.5}

Trong nghiên cứu này để quan sát hình dạng, số lượng hạt trong các mẫu PM_{2.5} được tiến hành phân tích bằng SEM (*S-4800, Hitachi, Tokyo, Nhật Bản*) tại Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST). Các hình ảnh đã được chụp với các độ phóng đại khác nhau dưới SEM được tiến hành phân tích cấp hạt dựa trên với phần mềm ImageJ để cung cấp thông tin về hình thái bề mặt và phân bố kích thước của chúng.

2.2.4. Xác định tính chất hóa học của bụi PM_{2.5}

a, Xác định nồng độ ions

Quy trình xác định thành phần ion của mẫu bụi được thực hiện theo các bước chính là chiết mẫu và phân tích mẫu. Quy trình chiết mẫu được thực hiện

như sau:

- Lấy $\frac{1}{4}$ giấy lọc cắt nhỏ, cho vào ống phá và dán nhãn (sử dụng ống nhựa 10ml sạch khô)
- Lấy mẫu giấy bụi thu được cho vào trong ống, sau đó thêm 10ml nước cất 2 lần đã lọc qua màng lọc 0,45 μ m.
- Mang ống mẫu thu được đi siêu âm trong thời gian 30 phút, mục đích rung siêu âm làm hòa tan hoàn toàn các ion từ bụi trên giấy lọc và nước.
- Sau khi siêu âm ống mẫu xong, sử dụng màng lọc 0,45 μ m để hút mẫu cho vào ống đựng trong khay mẫu (ghi rõ thứ tự các mẫu đựng trong khay mẫu để tránh nhầm lẫn số liệu).

Nguyên tắc: Phân tích ion được thực hiện bằng máy sắc ký ion IC Vp10 Shimadzu. Phát hiện cation được thực hiện trên cột Shim Park SC. Pha động là dung dịch HNO_3 0,02 mol/L, ở tốc độ dòng 0,75 ml/ phút. Anion được phát hiện bằng cách sử dụng cột tách Shim Park SA. Pha động là hỗn hợp dung dịch 1mmol/L Na_2CO_3 và 2,7 mmol/L NaHCO_3 với tốc độ dòng 0,75ml/phút.

b, Xác định nồng độ kim loại

Phương pháp phân tích thành phần nguyên tố trong nghiên cứu này được thực hiện bởi hai bước chính, bao gồm phá mẫu và phân tích bằng thiết bị ICP - MS. Quy trình phá mẫu được thực hiện theo phương pháp IO - 3.1. Quy trình phá mẫu được thực hiện như sau:

- Cắt nhỏ 1/2 mẫu cho vào ống phá mẫu teflon và bổ sung 10 ml dung dịch phá mẫu (5,55% HNO_3 / 16,75% HCl).
- Đưa ống phá mẫu vào thiết bị lò vi sóng MLS - ETHOS UP để đẩy nhanh quá trình phá mẫu. Mẫu được đẩy nhanh quá trình phá mẫu với tổng thời gian là 35 phút và ở nhiệt độ 180°C.
- Đợi 30 phút, chú ý không để khô mẫu. Sau đó bỏ ra để nguội.
- Rửa thành ống phá mẫu bằng nước cất đề ion. Sau đó cho thêm 10 ml nước cất rồi để yên ít nhất 30 phút. Bước này không nên bỏ qua vì axit sẽ khuếch tán vào giấy lọc, giúp cho quá trình rửa được hiệu quả.
- Lọc dung dịch vào các ống định mức bằng giấy lọc 0,45 μ m. Đóng chặt

nắp ống và bảo quản lạnh đến khi phân tích.

- Lọc dung dịch mẫu vừa chiết với màng lọc 0,2 μm

Dung dịch thu được sau khi phá mẫu được đem đi phân tích trên thiết bị ICP - MS theo phương pháp IO - 3.5 tại phòng thí nghiệm phân tích Môi trường - Phân viện Hóa Môi trường Trung tâm Nhiệt đới Việt Nga.

2.2.5. Phương pháp mô hình hóa

2.2.5.1. Mô hình HYSPLIT

Cụ thể trong nghiên cứu này, Mô hình HYSPLIT được sử dụng để khảo sát quỹ đạo ngược của sự phân tán bụi $\text{PM}_{2.5}$ qua vị trí lấy mẫu khảo sát với thời gian 96 giờ ở độ cao điểm tiếp nhận là 100m. Dữ liệu khí tượng được sử dụng phân tích này là dữ liệu khí tượng NCEP/NCAR được phân tầng theo chiều dọc theo mười bảy mức áp suất (10 -1000 hPa) và xếp chồng lên nhau theo chiều ngang trên lưới kinh độ - vĩ độ chiếu toàn cầu $2,5^0$ với độ phân giải thời gian là 6 giờ trong khoảng thời gian khảo sát ở hai mùa (mùa mưa và mùa khô) được thực hiện. Gần đây, bộ dữ liệu khí tượng phân tích lại NCEP/NCAR đã được nhiều công trình tương tự trong khu vực sử dụng. Để xác định nguồn gốc khối khí đã ảnh hưởng đến khu vực trong thời gian thực hiện thu thập các mẫu thì phương pháp phân tích quỹ đạo ngược có trọng số nồng độ (Concentration Weighted Trajectory - CWT) và phân tích cụm quỹ đạo (Trajectory Clustering) đã được sử dụng

2.2.5.2. Mô hình PMF

Để nhận diện nguồn phát sinh các chất gây ô nhiễm và định lượng phần đóng góp của chúng, các mô hình thống kê áp dụng cho vị trí quan trắc – địa điểm đặt thiết bị thu mẫu đều phải dựa vào quy luật bảo toàn khối lượng (hàm lượng bụi khó trong mẫu thu góp tại vị trí quan trắc phải bằng tổng hàm lượng bụi khí từ các nguồn thành phần khả dĩ đóng góp vào) và được thể hiện theo phương trình:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p a_{ik} f_{kj} \quad (i = 1 \div n, j = 1 \div m, k = 1 \div p)$$

Trong đó:

a_{ik} là phần khối lượng của nguồn k đóng góp vào mẫu thứ i

f_{kj} là phần khối lượng của nguyên tố thứ j trong nguồn k
 p là số nguồn thành phần

2.2.5.3. Xác định rủi ro phơi nhiễm đối với sức khỏe con người

Các đối tượng được chia thành hai nhóm (người lớn và trẻ em) dựa trên khả năng phơi nhiễm của từng đối tượng. Đánh giá phơi nhiễm là một phương pháp cảnh báo rủi ro theo thời gian con người tiếp xúc với các chất trong môi trường và trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành đánh giá qua con đường hít thở. Chỉ số rủi ro được tính qua các công thức dưới đây:

Nồng độ tiếp xúc qua đường hô hấp được (EC_i – đơn vị là $\mu\text{g}/\text{m}^3$) được tính bằng công thức:

$$EC_i^{inh} = \frac{CA_i \times ET \times EF \times ED}{AT} \quad (2.2)$$

Liều lượng hấp thụ qua da khi (DAD_i – đơn vị $\text{mg}/\text{kg}/\text{ngày}$) được tính bằng công thức số (2.3):

$$DAD_i^{der} = \frac{CA_i \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (2.3)$$

Chỉ số nguy hiểm gây ung thư (HQ) được tính toán như thể hiện trong các phương trình (2.4) - (2.5)

$$HQ_{der} = \frac{DAD_i^{der}}{RfD_i^{der} \times ABS} \quad (2.4)$$

$$\text{Tổng chỉ số nguy hiểm gây ung thư: } HI = \sum HQ_i \quad (2.5)$$

Nguy cơ gây ung thư (CR) của các kim loại độc hại thông qua ba cách tính được dựa trên các phương trình từ (2.6) – (2.7)

$$CR_{inh} = EC_i^{inh} \times IUR \quad (2.6)$$

$$CR_{inh} = \frac{DAD_i^{der} \times RfD_i^{der}}{ABS} \quad (2.7)$$

$$\text{Tổng chỉ số rủi ro gây ung thư: } TCR = \sum CR_i \quad (2.8)$$

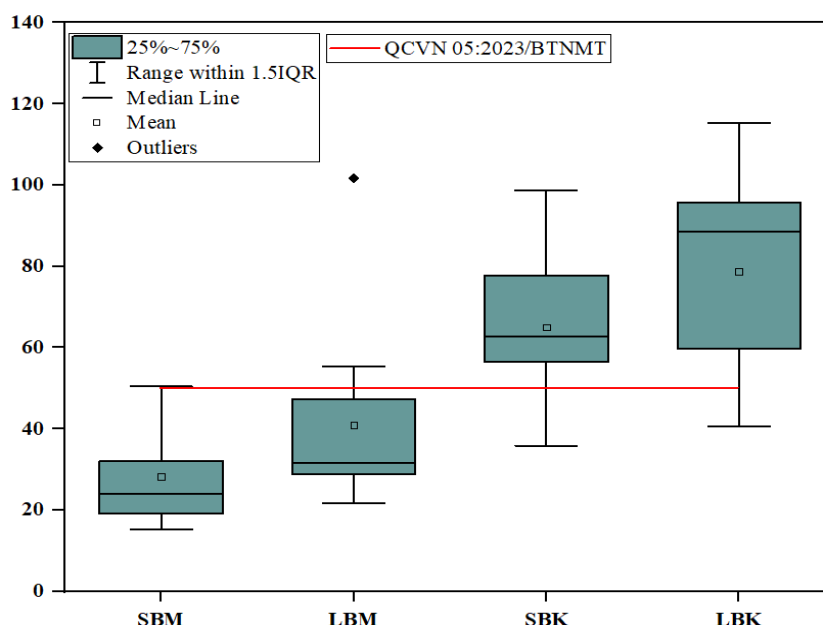
Chỉ số nguy hiểm (HI) sẽ bằng tất cả các HQ của các nguyên tố cộng lại, từ đó đánh giá các tác động nguy hiểm gây tác động mãn tính của các rủi ro không gây ung thư. Khi cả hai $HQ \leq 1,0$ và $HI \leq 1,0$ thì không có nguy cơ đáng kể về các tác động mãn tính. Ngược lại, $HQs > 1$ hoặc $HI > 1$ cho thấy khả năng xuất hiện các bệnh mãn tính. Giá trị nguy cơ gây ung thư TCR cho thấy khả năng bị tác nhân gây ung thư do các kim loại gây nên và được chia thành

5 bậc 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 $TCR \geq 10^{-1}$.

Chương 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn biến nồng độ bụi $PM_{2.5}$ tại Thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai

Hình 3. 7 cho thấy các giá trị đều nằm trong khoảng giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất chỉ có duy nhất 1 mẫu thuộc vị trí LBM có giá trị ngoại biên cao đột biến với nồng độ là $101,59 \mu g/m^3$. Giá trị trung bình của mùa mưa đều dưới ngưỡng QCVN 05: 2023/BTNMT và hoàn toàn ngược lại đối với các mẫu thu nhận được vào mùa khô có đến hơn 50% các giá trị thu nhận được ở cả 2 địa điểm đều cao hơn ngưỡng QCVN cho phép trong thời gian 24h là $50 \mu g/m^3$.

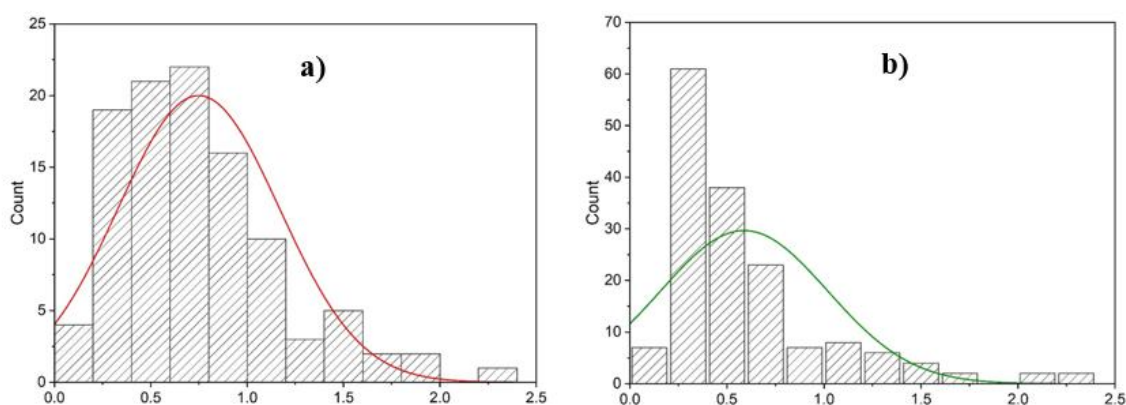


Hình 3.7: Các giá trị nồng độ của mùa mưa và mùa khô

3.2. Các đặc điểm hóa – lý của bụi $PM_{2.5}$ tại Thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai

3.2.1. Phân cấp độ hạt trong mẫu bụi $PM_{2.5}$

Hình 3.13 cho thấy phân bố kích thước hạt của mẫu $PM_{2.5}$ sau khi xử lý bằng SEM và ImageJ, với hầu hết hạt có đường kính khí động học $\leq 1,0 \mu m$. Hạt có đường kính $1,0 - 2,5 \mu m$ chiếm tỷ lệ rất thấp. Kết quả này phù hợp với hình thái bề mặt đã quan sát và cho thấy bụi mịn $PM_{2.5}$ tại khu vực chủ yếu có nguồn gốc từ phát tán tầm xa, bởi các hạt siêu mịn này có khả năng di chuyển xa trước khi đến khu vực nghiên cứu [4].

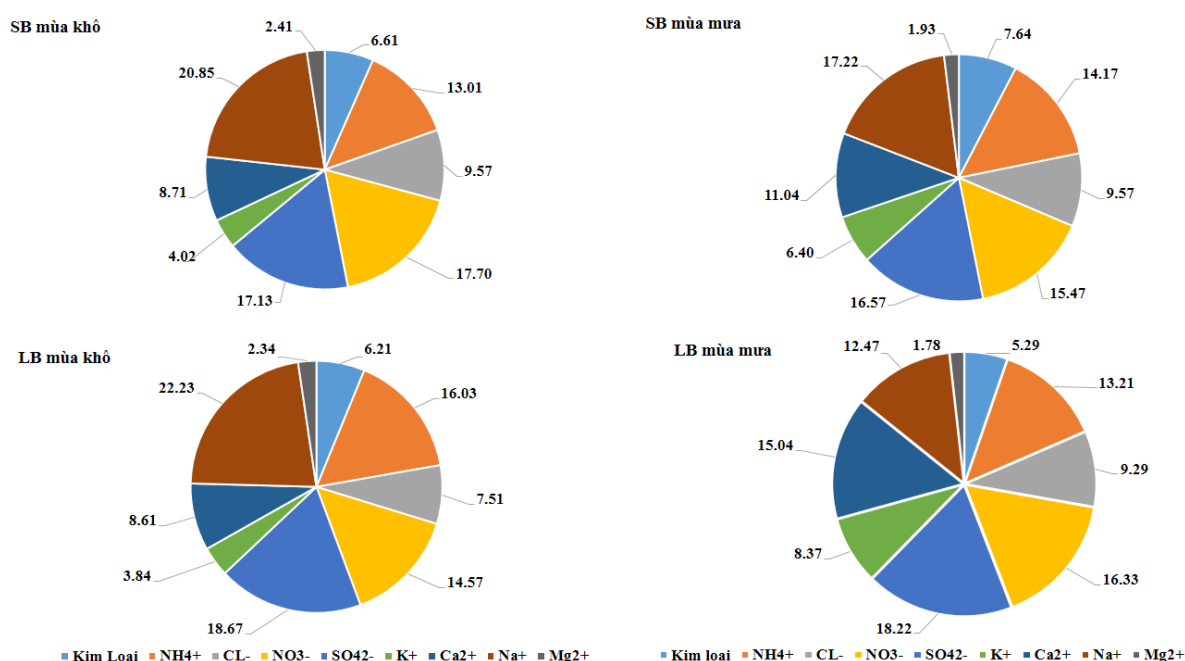


Hình 3.13. Tỷ lệ phần trăm các khoảng hạt chia trong kích thước ở vị trí SB trong giai đoạn 1 (a) và giai đoạn 2 (b).

3.2.2. Đặc tính hóa học của bụi $PM_{2.5}$

3.2.2.1. Thành phần kim loại trong bụi $PM_{2.5}$

Trong nghiên cứu, 11 kim loại và 8 ion chính trong bụi $PM_{2.5}$ đã được phân tích. Kết quả cho thấy các kim loại có nồng độ cao chủ yếu có nguồn gốc từ vỏ trái đất, với mức biến động theo mùa, nồng độ mùa khô cao hơn mùa mưa; đặc biệt, Cd trung bình vào mùa khô cao gấp 20 lần giới hạn trung bình năm của WHO ($0,005 \mu g/m^3$).



Hình 3.18 : Tỷ lệ phần trăm của kim loại và các ion theo từng mùa

Tổng hàm lượng kim loại chiếm 5,29 – 7,64% tổng nồng độ các chất, trong đó Na^+ là cation chiếm tỷ lệ cao nhất (12,47 – 22,23%) và SO_4^{2-} là anion

chủ yếu (16,57 – 18,67%). Kết quả cho thấy ion chiếm tỷ lệ lớn trong mẫu bụi, đồng thời bước đầu gợi ý ngoài các nguồn trên đất liền, các nguồn từ môi trường biển cũng ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu.

3.3. Kết quả mô hình hóa xác định quỹ đạo di chuyển và xác định nguồn đóng góp bụi mịn PM_{2.5} đến chất lượng không khí thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai.

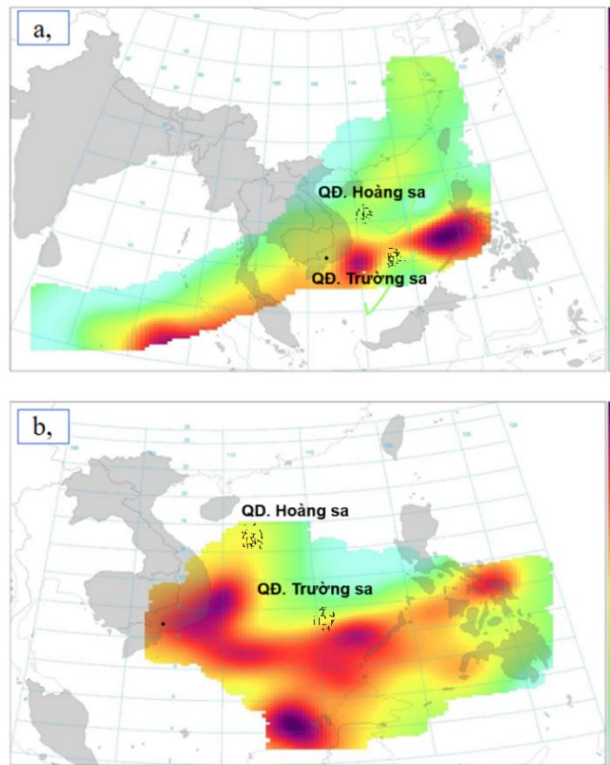
3.3.1. Mô hình quỹ đạo di chuyển HYSPLIT

- Mùa mưa

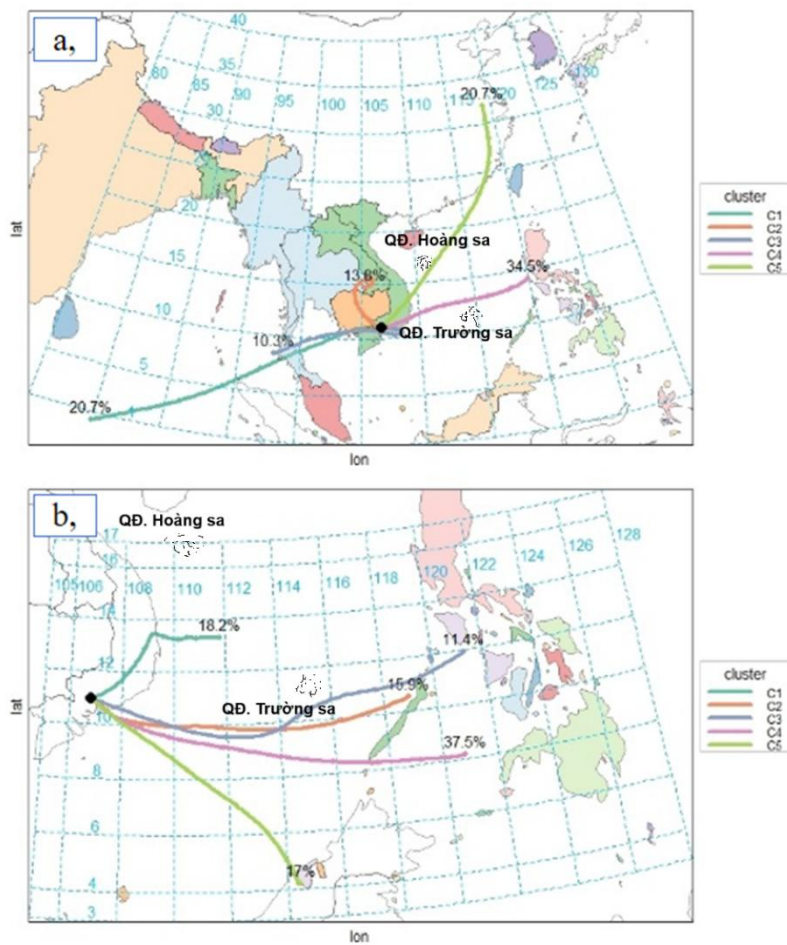
Hình 3.20a cho thấy nồng độ PM_{2.5} trung bình các cụm mùa mưa thấp hơn mùa khô, với phần trăm quỹ đạo dao động 10,3–34,5%. Cụm C4 chiếm cao nhất (34,5%) và có nồng độ trung bình 44,48 µg/m³, là cụm đóng góp lớn nhất vào PM_{2.5}. Quỹ đạo C4 xuất phát từ Malaysia và Brunei, di chuyển qua Biển Đông, có thể mang theo ô nhiễm từ hoạt động vận chuyển hàng hải, góp phần làm tăng nồng độ bụi tại khu vực nghiên cứu.

- Mùa khô

Trong mùa khô, mô hình HYSPLIT phân tích 5 cụm quỹ đạo gió ảnh hưởng đến chất lượng không khí, trong đó ba cụm (C2, C3, C4) xuất phát từ quần đảo Philippines, chiếm 15,9%; 11,4% và 37,4%, với nồng độ PM_{2.5} trung bình lần lượt 49,05; 98,7 và 37,5 µg/m³, trong đó cụm C3 vượt gần gấp đôi giới hạn QCVN 05:2023/BTNMT (50 µg/m³). Kết quả này cho thấy PM_{2.5} có khả năng phát tán xa và chịu ảnh hưởng từ các nguồn phát thải tầm xa, bao gồm hoạt động hàng hải và các cơ sở công nghiệp lớn tại Bà Rịa – Vũng Tàu (*nay là Thành phố Hồ Chí Minh*) (thép, xi măng, nhiệt điện) vừa trở lại hoạt động sau thời gian giãn cách do đại dịch Covid-19.



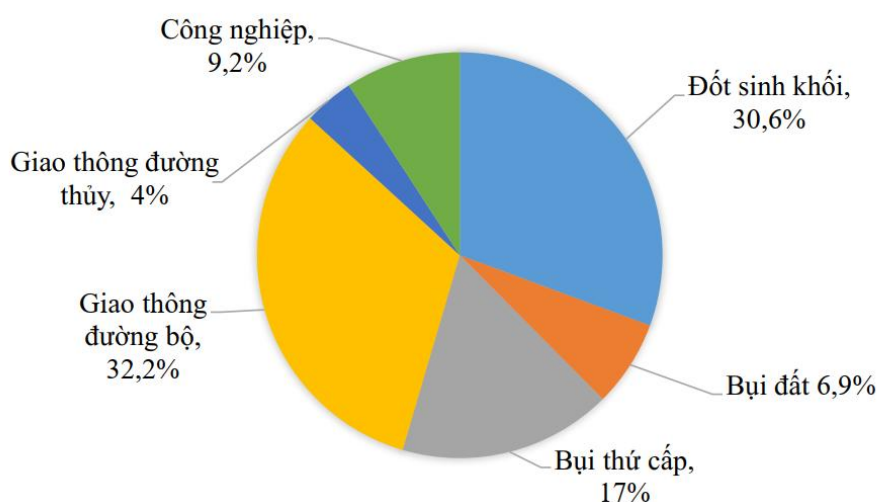
Hình 3.19: Kết quả CWT của bụi $PM_{2.5}$ đối với mùa mưa (a) và mùa khô (b)



Hình 3.20: Kết quả phân cụm đối với mùa mưa (a) và mùa khô (b)

3.3.2. Kết quả mô hình xác định nguồn PMF

Phân tích mô hình cho thấy khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng từ cả các nguồn tại chỗ và phát thải tầm xa, bao gồm ô nhiễm xuyên biên giới và giao thông đường thủy, với các hạt $PM_{2.5}$ có kích thước rất nhỏ, khả năng di chuyển xa, được minh họa qua mô hình HYSPLIT (Hình 3.19 và 3.20). Tại Biên Hòa, trung tâm công nghiệp và dân số cao, kết quả PMF cho thấy giao thông (32,2%) và đốt sinh khối (30,6%) là hai nguồn đóng góp chính vào nồng độ $PM_{2.5}$. Điều này xuất phát từ giai đoạn nghiên cứu ngay sau giãn cách Covid-19, khi nhiều khu công nghiệp chưa hoạt động trở lại, trong khi giao thông dân sinh, vận chuyển, xử lý rác thải y tế và hỏa táng tăng cao. Nguồn công nghiệp đóng góp 9,2%, trong khi các nguồn khác gồm giao thông đường thủy, bụi đất và bụi thứ cấp chiếm 4,0%, 6,9% và 17%.



Hình 3.27: Phần trăm đóng góp của các nhân tố đến nồng độ bụi $PM_{2.5}$

3.4. Đánh giá rủi ro ảnh hưởng đến sức khỏe con người

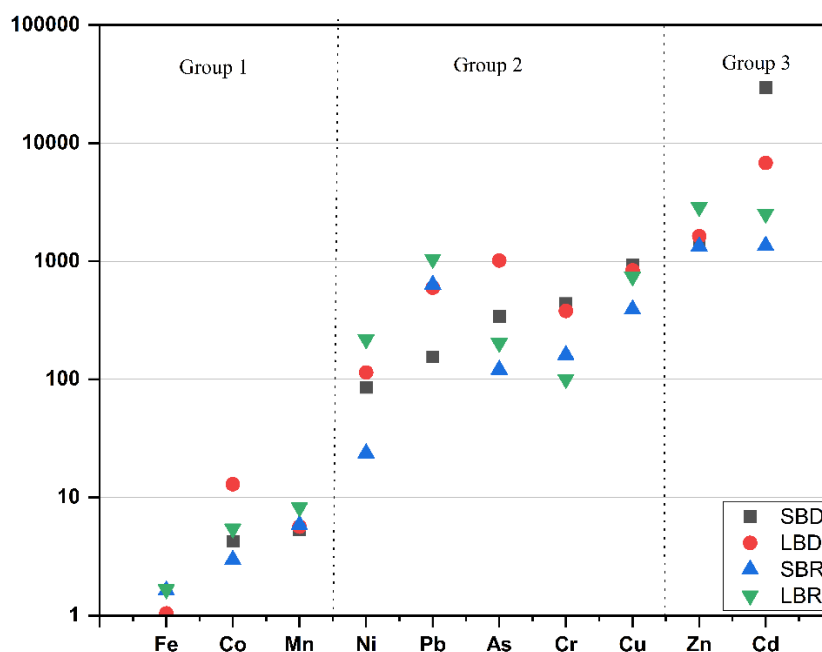
3.4.1. Xác định các kim loại đã được làm giàu

Hình 3.20 hiển thị giá trị trung bình EF của từng kim loại theo mùa và từng vị trí lấy mẫu. Dựa trên giá trị EF thu được của 10 kim loại nặng còn lại bởi Al là nguyên tố tham chiếu được chia thành ba nhóm như sau:

Nhóm 1 gồm các nguyên tố Fe, Mn và Co cho thấy tất cả đều có giá trị EF < 10 do đó có thể nhận định rằng nhóm này chưa bị làm giàu mạnh mẽ bởi các hoạt động của con người và chủ yếu đến từ lớp vỏ của Trái đất hoặc bụi đất tạo thành từ các nguồn trong tự nhiên.

Nhóm 2 bao gồm các nhóm các nguyên tố Ni, Pb, As, Cr, Cu với các giá trị EF nằm trong khoảng từ 10 cho đến 1000. Tuy nhiên, kết quả này cho thấy phần lớn các nguyên tố đều có giá trị EF trung bình lớn hơn 100. Điều này cho thấy sự đóng góp mạnh mẽ đến từ các nguồn nhân tạo.

Nhóm 3 là nhóm các nguyên tố có hệ số EF lớn hơn 1000 được xác định là các nguyên tố Zn và Cd. Trong đó giá trị EF của nguyên tố Cd trong bụi $PM_{2.5}$ vào mùa khô cao nhất là lên đến 37015,09 (bảng phụ lục 4). Đặc biệt theo IARC công bố Cd là các nguyên tố thuộc nhóm 1 của tác nhân gây ung thư [5]. Nhìn chung, các kim loại được làm giàu mạnh mẽ hơn vào mùa khô. Các nguyên tố Pb, As, Cr, Cu, Zn và Cd đều có giá trị EF > 100 ở cả mùa mưa và mùa khô. 6/7 nguyên tố này được IARC cảnh báo là rất có hại đối với sức khỏe con người [5].



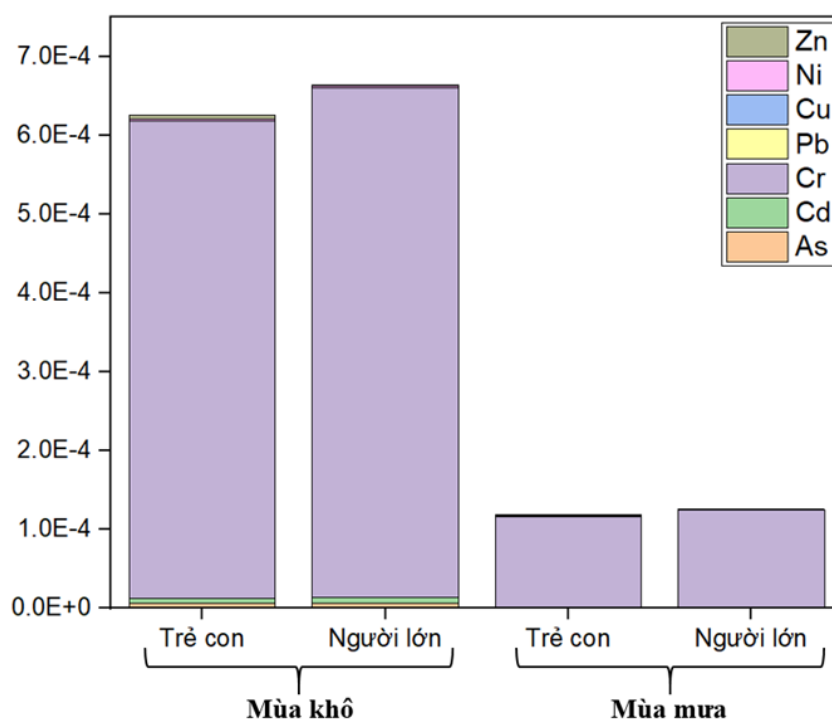
Hình 3.28: Giá trị EF của các kim loại

3.4.2. Xác định mức độ rủi ro ảnh hưởng đến sức khỏe con người

Để đánh giá nguy cơ sức khỏe tại Biên Hòa theo mùa, nghiên cứu xác định phơi nhiễm qua hô hấp và tiếp xúc da ở người lớn và trẻ em. Kết quả cho thấy mùa mưa $HI < 1$ ở cả hai nhóm, cho thấy không có nguy cơ mãn tính, trong khi mùa khô $HI > 1$ (1,09 trẻ em; 1,16 người lớn), vượt mức an toàn và tiềm ẩn nguy cơ bệnh mãn tính, với phơi nhiễm qua hô hấp đóng góp chủ yếu. Hai kim loại Cd và Cr chiếm 2/3 tổng HI và có nguồn chính từ hoạt động công

nghiệp, kể cả các nguồn tầm xa từ TP.HCM và Bình Dương. Kết quả nhấn mạnh trẻ em nhạy cảm hơn với phơi nhiễm công nghiệp và cần các biện pháp quản lý dài hạn để giảm tác động sức khỏe từ ô nhiễm công nghiệp.

Cd và Cr là các kim loại nhóm 1 có khả năng gây ung thư [5], nhưng kết quả TCR cho thấy Cd ở mức thấp, trong khi Cr có giá trị cao nhất, dao động $1,23 \times 10^{-4} - 6,47 \times 10^{-4}$ theo mùa. Cụ thể, mùa khô TCR của Cr là $6,25 \times 10^{-4}$ ở trẻ em và $6,64 \times 10^{-4}$ ở người lớn; mùa mưa thấp hơn nhưng không đáng kể ($1,19 - 1,25 \times 10^{-4}$). Cr chiếm khoảng 95% tổng TCR tại khu vực nghiên cứu, tương đồng với kết quả ở TP.HCM (84%) và Hà Nội (67%) [6]. Mức TCR này xếp vào mức trung bình ($10^{-4} \leq \text{TCR} \leq 10^{-3}$), phản ánh khả năng phơi nhiễm ung thư do kim loại nặng và cho thấy mùa mưa rủi ro thấp hơn mùa khô. So với Hà Nội và TP.HCM ($0,72 \times 10^{-5}$ và $1,18 \times 10^{-5}$) [8], giá trị TCR tại Biên Hòa cao hơn, phần nào do nghiên cứu chỉ đánh giá qua đường hô hấp, chưa tính tiếp xúc qua da. Kết quả nhấn mạnh cần tăng cường kiểm soát các nguồn Cr để giảm nguy cơ sức khỏe.



Hình 3.29: Chỉ số HI

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này đã thực hiện thu thập tổng cộng 42 mẫu bụi mịn $PM_{2.5}$ vào mùa mưa và mùa khô và đã tiến hành phân tích đặc tính hóa lý, nguồn gốc và ảnh hưởng đến sức khỏe của chúng đối với con người đã thu được một số kết quả như sau:

Nồng độ bụi $PM_{2.5}$ vào mùa khô cao hơn nhiều so với mùa mưa và hầu hết các mẫu đều cho cao hơn so với QCVN 05:2023/ BTNMT. Cấp độ hạt chủ yếu là những hạt bụi mịn có đường kính khí động học $\leq 1,0 \mu m$.

Kết quả phân tích thành phần hóa học cho thấy các kim loại có nồng độ cao chủ yếu thuộc nhóm kim loại có nguồn gốc từ vỏ trái đất. Nồng độ kim loại và ion thể hiện sự biến động rõ rệt theo mùa, với xu hướng tăng cao trong mùa khô. Đáng chú ý, nồng độ trung bình của Cd trong mùa khô cao gấp khoảng 20 lần so với giá trị khuyến nghị của WHO ($0,005 \mu g/m^3$) cho giới hạn trung bình năm. Tổng hàm lượng kim loại thu được chiếm khoảng 5,29 - 7,64% tổng nồng độ các chất phân tích trong bụi $PM_{2.5}$. Trong nhóm cation, Na^+ chiếm tỷ lệ cao nhất (12,47 - 22,23%), trong khi ở nhóm anion, SO_4^{2-} là thành phần chiếm ưu thế (16,57 - 18,67).

Qua các kết quả phân tích của mô hình HYSPLIT cho thấy tại khu vực nghiên cứu đã bị ảnh hưởng bởi địa bàn và các nguồn phát thải tầm xa, chủ yếu xuất phát từ hướng Đông và Đông Bắc.

Mô hình PMF cho thấy nguồn thải từ giao thông và đốt sinh khối là hai nguồn đóng góp lớn nhất vào nồng độ $PM_{2.5}$ ở khu vực nghiên cứu, với đóng góp lần lượt là 32,2% và 30,6%. Hoạt động công nghiệp không quá lớn chỉ với 9,2%. Tiếp đến là các nguồn như giao thông đường thủy, bụi đất và bụi thứ cấp có giá trị lần lượt là 4,0%, 6,9% và 17%.

Nghiên cứu đã xác định được 7/11 nguyên tố kim loại có hệ số EF > 100. Trong đó các nguyên tố Ni, Pb, As, Cr, Cu, Zn và Cd đều có giá trị EF > 100 ở cả mùa mưa và mùa khô. Đây đều là các nguyên tố được IARC cảnh báo là rất có hại đối với sức khỏe con người.

Giá trị HI thu được trong mùa mưa cho thấy $HI < 1$ ở cả người lớn và trẻ em, phản ánh rằng phơi nhiễm với các kim loại trong bụi $PM_{2.5}$ không gây ra ảnh hưởng lâu dài hay nguy cơ đối với các bệnh mãn tính. Ngược lại, trong mùa khô, giá trị $HI > 1$ cụ thể 1,09 ở trẻ em và 1,16 ở người lớn cho thấy tổng rủi ro không gây ung thư đã vượt ngưỡng an toàn, hàm ý sự tồn tại của các nguy cơ ảnh hưởng đối với sức khỏe, đặc biệt là các tác động mãn tính khi phơi nhiễm kéo dài.

Kết quả TCR có giá trị lần lượt là mùa khô là $6,25 \times 10^{-4}$ đối với trẻ con và $6,64 \times 10^{-4}$ đối với người lớn, mùa mưa có giá trị TCR thấp hơn nhưng không đáng kể lần lượt là $1,19 \times 10^{-4}$ đối với trẻ con và $1,25 \times 10^{-4}$ đối với người lớn. Với giá trị TCR cho thấy có thể bị tác nhân gây ung thư do kim loại nặng gây nên tại khu vực nghiên cứu ở mức độ trung bình ($10^{-4} \leq TCR \leq 10^{-3}$).

Dựa trên các kết quả nghiên cứu, luận án đã đề xuất các giải pháp nhằm giảm thiểu ô nhiễm tại khu vực nghiên cứu. Các nguồn phát thải được phân loại thành hai nhóm: nhóm nguồn có thể kiểm soát trực tiếp (bao gồm: giao thông, đốt sinh khối, bụi đất trong tỉnh) và nhóm nguồn cần có sự phối hợp liên vùng (bao gồm: các nguồn phát thải liên tỉnh, xuyên biên giới). Cách phân loại này giúp định hướng các giải pháp quản lý phù hợp, khả thi và hiệu quả hơn trong việc giảm thiểu nồng độ chất ô nhiễm.

2. KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu của Luận án cho thấy phần lớn các điều là các hạt kích thước nhỏ, có đường kính khí động học $\leq 1,0 \mu m$. Điều này rất đáng lưu ý và cần được quan tâm cho các hướng nghiên cứu ÔNKK tiếp theo trên địa bàn thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai. Tác giả xin kiến nghị một số vấn đề như sau:

- Cần tiếp tục mở rộng quy mô cả về thời gian và không gian để có các nghiên cứu chuyên sâu về bụi mịn hoặc bụi siêu mịn để góp phần quản lý hiệu quả chất lượng không khí.
- Quy trình đã được áp dụng có thể chuyển giao cho các cơ quan, tổ chức hoạt động trong lĩnh vực nghiên cứu về vấn đề ÔNKK.

- Bộ dữ liệu về bụi $PM_{2.5}$, các nguồn ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu có thể được sử dụng cho việc viết báo cáo hiện trạng môi trường không khí địa phương, phục vụ tổng hợp chất lượng môi trường quốc gia.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Duy Linh Bui, Anh Le Hoang, Quang Khoi Ngo, Xuan Truong Nghiem, 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*, 17 (2023) 100209. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2023.100209>.
2. Bui Duy Linh, Hoang Anh Le, Nghiem Xuan 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*, 30(13) (2023) 36533–36544. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24801-z>.
3. Bùi Duy Linh, Hoàng Anh Lê, Nghiêm Xuân Trường, Nguyễn Việt Thanh, Nguyễn Thị Năng, Nguyễn Ngọc Hưng, Đánh giá nồng độ và phân bố cấp hạt trong bụi mịn (PM_{2.5}) khu vực thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, 38(3) (2022) 93-100. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4862>.
4. Bùi Duy Linh, Hoàng Anh Lê, Nghiêm Xuân Trường, Nguyễn Thanh Tuấn, Lê Bảo Hưng, Nguyễn Đức Thắng, Phạm Thu Huyền, Quan trắc nồng độ và phân tích đặc tính của bụi mịn tại phường Long Bình, Thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt Đới*.
5. Hoàng Anh Lê, Bùi Duy Linh, Nguyễn Thanh Tuấn, Phạm Thu Huyền, Đặc điểm của PM_{2.5} tại Khu công nghiệp Long Bình, Thành phố Biên Hòa, Việt Nam: Nồng độ khối lượng, Thành phần hóa học, Phân bố nguồn và Đánh giá rủi ro sức khỏe. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5028>