VNUHCM Journal of Environment and Earth Sciences 2026, 10(1):1272-1284

Bài nghiên cứu

Open Access Full Text Article

Sự thay đổi nồng độ và xác định nguồn phát thải của các ion và kim loại bám trên bụi lơ lửng tại khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh

Trần Phước Tân, Nguyễn Thị Tuyết Nam*

Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Ô nhiễm không khí tại các đô thị lớn luôn là vấn đề thách thức do ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá nồng độ của một số chất ô nhiễm không khí và xác định nguồn thải của bụi tại thành phố Hồ Chí Minh bằng mô hình PMF (Positive Matrix Factorization). Các chất ô nhiễm không khí được xem xét bao gồm các chất dạng khí (SO_2, HNO_3, HCl, NH_3) và các ion bám trong bụi (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}). Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ mạng lưới quan trắc lắng đọng axít vùng Đông Á (EANET - Acid Deposition Monitoring Network in East Asia). Kết quả cho thấy nồng độ các chất ô nhiễm có xu hướng tăng vào mùa khô và giảm vào mùa mưa. Trong số các ion, SO_4^{2-} và NO_3^- chiếm ưu thế với nguồn phát thải chủ yếu từ hoạt động giao thông và đốt nhiên liệu hóa thạch. Các yếu tố khí tượng như hướng gió, lượng mưa, độ ẩm và thời gian nắng đều có tương quan nghịch với nồng độ của các chất ô nhiễm dạng khí và các ion bám trong bụi. Kết quả phân tích từ mô hình PMF chỉ ra rằng vào mùa khô, sự hình thành của các aerosol thứ cấp có thể đóng góp vào hàm lượng bụi. Bên cạnh đó, hoạt động giao thông vận tải và đốt nhiên liệu hóa thạch cũng có thể là những nguồn phát thải bụi chính trong cả hai mùa. Những kết quả từ nghiên cứu này góp phần gia nâng cao hiểu biết về thực trạng ô nhiễm bụi tại thành phố Hồ Chí Minh, từ đó cung cấp cơ sở khoa học hỗ trợ các biện pháp kiểm soát và giảm thiểu ô nhiễm không khí tại khu vực.

Từ khoá: Bụi, kim loại, ions, nguồn thải, PMF

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Sài Gòn, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Thị Tuyết Nam, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Sài Gòn, Việt Nam

Email: ntnam@sgu.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 29-05-2025
- Ngày sửa đổi: 05-11-2025
- Ngày chấp nhận: 09-06-2026
- Ngày đăng: 25-06-2026

DOI : https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-ees.v10i1.821

Check for updates

Bản quyền

© Tạp chí ĐHQ-HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

GIỚI THIỆU

Ô nhiễm không khí là một vấn đề toàn cầu nghiêm trọng, có thể ảnh hưởng sâu rộng đến sức khỏe con người và môi trường. Các chất ô nhiễm không khí chủ yếu phát sinh từ hoạt động công nghiệp, giao thông, sinh hoạt và nông nghiệp. Những chất này có thể làm suy giảm chất lượng không khí, gây ra các bệnh về phổi, tim mạch và ung thư, đặc biệt là bụi ô nhiễm trong không khí. Bụi (PM – particulate matter) thường biết đến là một hỗn hợp các hạt vô cơ và hữu cơ tồn tại ở dạng hạt rắn, được phát sinh từ nhiều nguồn thải khác nhau và có thể ở dạng lơ lửng trong không khí. Aerosol là hỗn hợp gồm các hạt rắn bao gồm bụi hoặc giọt lỏng có kích thước rất nhỏ (có kích thước từ vài nanomet đến vài chục micromet) lơ lửng trong không khí. Các hạt bụi có thể có kích thước rất nhỏ, chẳng hạn như nhỏ hơn 10 μm và có thể dễ dàng xâm nhập vào hệ hô hấp, gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người [1]. Ngoài ra, sự gia tăng hàm lượng bụi, chẳng hạn như bụi mịn có kích thước hạt nhỏ hơn 2,5 μm có thể làm giảm hoặc hạn chế tầm nhìn, dẫn đến sự nguy hiểm trong quá trình tham gia giao thông.

Các chất ô nhiễm không khí ở dạng khí, ví dụ như sulfua dioxit (SO_2), amoniac (NH_3), cũng có thể ảnh hưởng đến môi trường. SO_2 và NH_3 là tiền chất góp phần tạo ra aerosol vô cơ thứ cấp (SIA – secondary inorganic aerosol) thông qua phản ứng quang hóa, dẫn đến sự hình thành của các ion như sulfate (SO_4^{2-}) và amoni (NH_4^+) bám trong các hạt bụi [2]. SO_2 và những chất ô nhiễm dạng khí khác như axit clorua (HCl) và axit nitric (HNO_3) có thể góp phần vào sự hình thành hiện tượng mưa axit, làm suy thoái đất, nước, hệ sinh thái, đồng thời gây ra các hiện tượng sương mù quang hóa, làm giảm tầm nhìn và tác động đến khí hậu. Ngoài ra các ion bám trong hạt bụi PM như là SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+} và Ca^{2+} là các chất có hại đối với sức khỏe con người và có thể gây ra các bệnh liên quan tới đường hô hấp như hen suyễn, đồng thời tăng nguy cơ mắc bệnh tim mạch [3].

Mô hình PMF (Positive Matrix Factorization) được biết đến như một công cụ hiệu quả trong việc phân tích nguồn gốc và xác định mức đóng góp của các nguồn phát thải vào môi trường. Đây là một kỹ thuật thống kê cho phép tách dữ liệu quan trắc thành các

Trích dẫn bài báo này: Phước Tân T, Tuyết Nam N T. **Sự thay đổi nồng độ và xác định nguồn phát thải của các ion và kim loại bám trên bụi lơ lửng tại khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh**. *VNUHCM J. Environ. Earth Sci.* 2026; 10(1):1272-1284.

yếu tố đặc trưng (factor profiles) và tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố (factor contributions) mà không cần thông tin giả định ban đầu về nguồn [4]. So với các công cụ phân tích nguồn khác như Phân tích thành phần chính (Principal component analysis - PCA) hay mô hình Cân bằng khối lượng hóa học (Chemical Mass Balance - CMB), mô hình PMF cho thấy ưu thế vượt trội về độ chính xác và khả năng nhận diện nguồn. Chẳng hạn như nghiên cứu so sánh tại châu Âu (Tây Ban Nha và Ý) [5] đã chỉ ra rằng PMF cho kết quả phân tích nguồn tốt và tin cậy hơn PCA. Ngoài ra, nghiên cứu tại bang Georgia (Hoa Kỳ) cũng khẳng định PMF có độ linh hoạt và dễ ứng dụng cao hơn so với mô hình CMB [6].

Hiện nay, PMF đã và đang được ứng dụng rộng rãi tại nhiều quốc gia để xác định nguồn phát thải ô nhiễm. Tại Seoul (Hàn Quốc), một nghiên cứu đã thu thập mẫu bụi mịn $PM_{2.5}$ và sử dụng mô hình PMF để xác định 09 nguồn phát thải chính [7], trong đó giao thông cùng với sulfate và nitrate thứ cấp chiếm tỷ lệ cao nhất. Tại Trung Quốc, các nghiên cứu ở Thiên Tân và Lan Châu cũng cho thấy $PM_{2.5}$ chủ yếu được phát thải từ các hoạt động giao thông vận tải, đốt than, hoạt động công nghiệp, muối biển, bụi đường và các thành phần thứ cấp như sulfate và nitrate. Ở Đông Nam Á, nghiên cứu tại Bandung (Indonesia) [8] trong giai đoạn 2001–2007 với 367 mẫu bụi mịn ($PM_{2.5}$) và bụi thô (PM_{10}) đã cho thấy sự khác biệt theo mùa: trong mùa khô, bụi chủ yếu chịu ảnh hưởng từ aerosol thứ cấp, công nghiệp mạ điện, giao thông và đốt sinh khối; vào mùa mưa lại bị chi phối bởi giao thông, aerosol thứ cấp, công nghiệp giàu sunfat và bụi xây dựng. Tại Việt Nam, mô hình PMF cũng đã được áp dụng trong các nghiên cứu về ô nhiễm không khí. Ở Hà Nội, nghiên cứu của Phạm Duy Hiển và cộng sự (2021) đã xác định 07 nguồn chính đóng góp vào nồng độ $PM_{1.0}$ và $PM_{2.5}$, bao gồm aerosol vận chuyển xa, bụi tái lơ lửng, khí thải giao thông sơ cấp, tro bay, đốt sinh khối, bụi xây dựng và muối biển [9]. Trong đó, giao thông và các nguồn thứ cấp là hai nhóm đóng góp lớn nhất.

Thành phố Hồ Chí Minh (Tp.HCM) là một trong những thành phố lớn của Việt Nam, tại đây có mật độ dân cư cao và tập trung đông các khu công nghiệp, khu chế xuất và nhiều công ty lớn nhỏ. Chính vì vậy, sự ô nhiễm không khí tại thành phố này là một trong những vấn đề cấp bách về môi trường, đặc biệt sự ô nhiễm bụi, chẳng hạn như PM_{10} và $PM_{2.5}$ luôn ở mức khá cao, trung bình các năm trở lại đây đều vượt ngưỡng giới hạn của WHO [10,11] và Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí [12,13]. Vì thế việc đánh giá nồng độ và xác định nguồn phát thải của các chất ô nhiễm không khí là rất cần thiết nhằm góp phần để bảo vệ môi trường cũng như là sức khỏe của người dân tại thành phố.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá nồng độ và xác định nguồn thải của các chất ô nhiễm trong không khí tại Tp.HCM, bao gồm các chất ở dạng khí như SO_2, HNO_3, HCl và NH_3 cùng với bụi dạng hạt lơ lửng (TSP) trong không khí có chứa các ion SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}. Các chất này góp phần trong việc tìm hiểu nguồn thải gây ra ô nhiễm không khí ở Tp.HCM vì mỗi chất và mỗi ion đều có đặc trưng riêng đại diện cho nguồn thải. Ngoài ra, việc xem xét và đánh giá nồng độ các chất này là quan trọng vì chúng cũng là những tác nhân gây ra ảnh hưởng tới sức khỏe của những người dân trong thành phố.

DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp thu thập dữ liệu

Dữ liệu nồng độ của các chất khí (SO_2, HNO_3, HCl, NH_3) và các ion trong bụi tổng TSP (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) tại Tp.HCM được thu thập từ mạng lưới quan trắc EANET (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia) (https://www.eanet.asia/). Giai đoạn thu thập dữ liệu từ năm 2014 đến năm 2023. Vị trí thu mẫu có vĩ độ 10° 47' 04"N, kinh độ 106° 42' 00"E, độ cao là 5 m so với mực nước biển [14] (Hình 1). Ngoài ra, thể tích lấy mẫu là từ 1 – 2 lít/phút và tần suất thu mẫu là mỗi tuần một lần, bắt đầu vào mỗi 9 giờ sáng thứ hai hàng tuần [15,16].

Theo EANET [17], mẫu khí và bụi được thu thập bằng thiết bị thu mẫu gồm 4 tầng giấy lọc (filter pack). Khi thu mẫu, không khí đi qua giấy lọc đầu tiên (F0) thì các hạt bụi được giữ lại. Các chất khí bao gồm HNO_3, SO_2, HCl, và NH_3 được giữ lại ở giấy lọc thứ 2 (F1). Giấy lọc thứ 3 (F2) và thứ 4 (F3) được tẩm dung dịch kiềm và axít và được dùng để thu SO_2 và HCl (đối với giấy lọc F2) và NH_3 (đối với giấy lọc F3) còn sót lại trong dòng khí đi vào thiết bị thu mẫu. Các ion có trong giấy lọc F0 và F1 (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) được tách chiết bằng máy lắc hoặc bể siêu âm trong 20 phút với nước khử ion và được phân tích bằng máy sắc ký ion (IC - Ion Chromatography). Tiếp đến SO_4^{2-} và Cl^- trong giấy lọc F2 được chiết bằng dung dịch H_2O_2 0.05% và NH_4^+ trong giấy lọc F3 được tách bằng cách dùng nước khử ion [15].

Tiếp đến, các dữ liệu về các điều kiện khí tượng tại khu vực nghiên cứu, bao gồm thành phần gió u và v tại độ cao 10 m và độ cao tầng khí quyển (PBLH), được thu thập từ dữ liệu ERA5 do Cơ quan Dịch vụ



Hình 1: Vị trí quan trắc các chất khí và ion trong bụi. [Nguồn: Google Earth]

Thời tiết Châu Âu (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) cung cấp (https://cds.climate.copernicus.eu). Trong đó, thành phần gió u biểu thị hướng gió theo trục Đông – Tây ($u > 0$ khi gió thổi từ Tây sang Đông và $u < 0$ khi gió thổi từ Đông sang Tây). Thành phần gió v biểu thị hướng gió theo trục Bắc–Nam ($v > 0$ khi gió thổi từ Nam lên Bắc và $v < 0$ khi gió thổi từ Bắc xuống Nam). Dữ liệu khí tượng được thu thập từ năm 2014 cho đến năm 2023 và được chỉnh về múi giờ Việt Nam (UTC+7) trước khi sử dụng. Ngoài ra, giá trị của thành phần gió u và v được sử dụng để tính vận tốc gió và hướng gió dựa vào công thức (1) và (2). Bên cạnh đó, các dữ liệu về điều kiện khí tượng khác, gồm nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối, lượng mưa, và thời gian nắng, tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn nghiên cứu được thu thập từ mạng lưới quan trắc EANET (https://www.eanet.asia/).

Công thức tính hướng gió và tốc độ gió được trình bày như sau[18]:

$$Tốc\ độ\ gió = \sqrt{u_{10}^2 + v_{10}^2} \quad (1)$$

$$Hướng\ gió = 180 + \frac{180}{\pi} \times a\tan 2\,(u, v) \quad (2)$$

Phương pháp xử lý dữ liệu

Phương pháp vẽ đồ thị hoa gió

Để hỗ trợ việc đánh giá nồng độ và xác định nguồn thải của các chất ô nhiễm, nghiên cứu tiến hành vẽ đồ thị hoa gió dựa vào hướng gió và tốc độ gió đã tính toán theo công thức (1) và (2). Phần mềm WRPLOT View (Lakes Environmental Software, USA), phiên bản 8.0.2 được sử dụng để vẽ đồ thị hoa gió.

Phương pháp đánh giá nồng độ chất ô nhiễm

Nghiên cứu này đánh giá nồng độ của các ion trong bụi dựa vào một số thông số bao gồm $ssSO_4^{2-}$ (sea salt SO_4^{2-} - sufat từ muối biển), $nssSO_4^{2-}$(non-sea salt SO_4^{2-} - sulfat không từ muối biển), NR (neutralization ratio – Tỉ lệ của NH_4^+ so với tổng của SO_4^{2-} và NO_3^-), excess NH_4^+ (ammonium dư thừa), SOR (Sulfur Oxidation Ratio - Tỉ lệ đánh giá mức độ oxy hóa của SO_2 thành SO_4^{2-}), và tỷ lệ NH_4^+/SO_4^{2-}. Công thức để tính các thông số này được trình bày như sau[19].

$$ssSO_4^{2-} = 0,25 \times [Na+] \quad (3)$$

$$nssSO_4^{2-} = [SO_4^{2-}] - ssSO_4^{2-} \quad (4)$$

$$NR = \frac{[NH_4^+]}{[SO_4^{2-}] + [NO_{3^-}]} \quad (5)$$

$$SOR = \frac{[nssSO_4^{2-}]}{[nssSO_4^{2-}] + [SO_2]} \quad (6)$$

Kết quả tính toán giá trị NR gần bằng 1 cho thấy amonium trung hòa gần như hoàn toàn sulfat và nitrat. NR lớn hơn 1 thể hiện sự dư thừa amonium và ngược lại[19]. Thông số SOR có thể được dùng để đánh giá mức độ quang hóa của khí SO_2 thành dạng ion $nssSO_4^{2-}$ trong bụi. Giá trị SOR càng cao cho thấy càng có nhiều aerosol thứ cấp chứa sulfat được hình thành từ sự oxy hóa quang hóa của khí SO_2 [20].

Phương pháp phân tích tương quan

Để đánh giá mối tương quan giữa nồng độ các chất ô nhiễm và các yếu tố khí tượng, nghiên cứu áp dụng phân tích tương quan Spearman. Hệ số tương quan hạng Spearman là một phép kiểm định thống kê không tham số, được sử dụng để đo lường mức độ và chiều hướng của mối quan hệ đơn điệu giữa hai biến. Giá trị của hệ số tương quan lớn hơn 0 nghĩa là hai biến có tương quan thuận (cùng tăng hoặc cùng giảm). Ngược lại, hệ số tương quan có giá trị nhỏ hơn 0 thể hiện hai biến có tương quan nghịch (1 biến tăng/giảm và biến còn lại giảm/tăng). Hệ số tương quan càng tiến 1 hoặc -1 nghĩa là tương quan giữa hai biến càng mạnh, càng tiến về 0 thể hiện hai biến có tương quan yếu. Công thức tính hệ số tương quan Spearman được biểu diễn như sau[21]:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

Trong đó:

ρ: hệ số tương quan hạng Spearman

n: số cặp giá trị quan sát

d_i^2: hiệu số giữa hai hạng (rank) của từng cặp giá trị

Để trực quan hóa kết quả phân tích Spearman, phần mềm R và thư viện *openair*[22] đã được sử dụng.

Phương pháp chạy mô hình PMF

Mô hình PMF (Positive Matrix Factorization, USA) được sử dụng để xác định nguồn thải bụi có chứa các ion đã quan trắc. Mô hình PMF phân tích dữ liệu quan trắc thành ma trận thể hiện đặc trưng nguồn ô nhiễm và ma trận thể hiện mức độ đóng góp của từng nguồn. Nồng độ của các ion trong bụi, bao gồm SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, và Ca^{2+} được dùng để chạy mô hình PMF. Mô hình PMF phân tích dữ liệu quan trắc dựa vào các công thức sau[23]:

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^{p} g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad (8)$$

Trong đó:

x_{ij} là giá trị dữ liệu quan sát thực tế tại mẫu i và loại j.

g_{ik} là giá trị trong ma trận **G**, đại diện cho sự đóng góp của mẫu i vào yếu tố k.

f_{kj} là giá trị trong ma trận **F**, đại diện cho đặc trưng của yếu tố k đối với loại j.

e_{ij} là phần dư, tức là sự chênh lệch giữa giá trị thực tế và giá trị dự đoán từ mô hình.

Sai số của mô hình PMF được tính toán theo công thức sau:

$$Q = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left[\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^{p} g_{ik} f_{kj}}{\mu_{ij}}\right] \quad (9)$$

Trong đó:

Q là hàm mục tiêu (objective function) cần được tối thiểu hóa trong mô hình PMF.

x_{ij} là giá trị dữ liệu quan sát thực tế tại mẫu i và loại j.

g_{ik} là giá trị trong ma trận **G**, đại diện cho sự đóng góp của mẫu i vào yếu tố j.

f_{kj} là giá trị trong ma trận **F**, đại diện cho đặc trưng của yếu tố k đối với loại j.

μ_{ij} là độ không chắc chắn (uncertainty) của giá trị quan sát x_{ij}.

Mô hình PMF sử dụng các công thức trên để phân tích và tối ưu hóa sao cho sự chênh lệch (error) giữa dữ liệu thực tế và dữ liệu mô hình hóa là thấp nhất. Việc tối thiểu hóa hàm mục tiêu Q sẽ giúp tìm ra số lượng các nguồn thải (factors) hợp lý. Để đánh giá sự ổn định của mô hình PMF, nghiên cứu này sử dụng phương pháp bootstrap (BS). Phương pháp này tạo nhiều tập dữ liệu ngẫu nhiên từ dữ liệu ban đầu bằng cách lấy mẫu lại có hoàn lại (resampling with replacement). Bootstrap được chạy bằng mô hình PMF dựa trên các kết quả phân tích nguồn thải từ mô hình. Sự ổn định của PMF được đánh giá dựa vào sự so sánh thành phần hóa học của từng nguồn lặp lại qua bootstrap và thành phần hóa học của nguồn ban đầu. Nếu không có sự khác biệt giữa hai thành phần này thì mô hình được xem là ổn định và kết quả phân tích nguồn thải (factor) được lựa chọn để tiến hành xác định các nguồn này.

Trong nghiên cứu này, mô hình PMF được chạy nhiều phương án với số lượng nguồn thải (factor) được xem xét là từ 2 đến 7. Đối với mỗi loại số lượng nguồn thải, mô hình PMF được chạy 20 lần để tìm ra lần chạy có giá trị Q tốt nhất, sau đó Bootstrap được chạy 100 lần để đánh giá sự ổn định của mô hình. Dựa vào kết quả của giá trị Q và Bootstrap, số lượng nguồn thải (factor) phù hợp sẽ được xác định. Việc đánh giá sự ổn định của mô hình PMF có thể dựa vào giá trị của Q, bao gồm Q_{true}, Q_{robust}, và $Q_{expected}$. Q_{true} đánh giá mức độ phù hợp (goodness of fit) giữa dữ liệu nồng độ đầu vào và dữ liệu nồng độ do mô hình PMF mô phỏng. Giá trị Q_{robust} được mô hình PMF tính toán tương tự như Q_{true}, tuy nhiên các giá trị nồng độ ngoại lai (outlier) được loại bỏ. Bên cạnh đó, $Q_{expected}$ là giá trị Q lý tưởng khi mô hình PMF mô phỏng dữ liệu nồng độ đầu vào một cách tối ưu.

Số lượng nguồn thải (factor) phù hợp được lựa chọn dựa vào sự suy giảm giá trị của Q khi thay đổi số nguồn (factor)[23]. Ngoài dựa vào giá trị Q, nghiên cứu cũng lựa chọn số lượng nguồn thải (factor) phù hợp dựa vào kết quả chạy bootstrap. Kết quả mô hình với n nguồn thải (factor) được xem là ổn định khi nồng độ các chất ô nhiễm của n nguồn từ bootstrap khớp

hoàn toàn với nồng độ của các chất trong *n* nguồn thải (factor) ban đầu (unmapped=0).

Độ không chắc chắn (uncertainty) của từng chất được xác định dựa giới hạn phát hiện của phương pháp (method detection limit – MDL)[23]. Đối với trường hợp nồng độ các chất nhỏ hơn giá trị MDL thì độ không chắc chắn được ước tính dựa theo công thức sau.

$$Độ\ không\ chắc\ chắn = \frac{5}{6}\ x\ MDL \quad (10)$$

với MDL là giới hạn phát hiện của phương pháp. Trường hợp nồng độ các chất lớn hơn giá trị MDL thì độ không chắc chắn được ước tính theo cách sau.

$$Độ\ không\ chắc\ chắn = \sqrt{(sai\ số\ tỷ\ lệ\ x\ nồng\ độ)^2 + (0{,}5\ x\ MDL)^2} \quad (11)$$

với sai số tỷ lệ (error fraction) là phần trăm sai số gắn với mỗi chất. Các giá trị MDL được tham khảo từ đây và độ không chắc chắn của các chất được ước tính dao động trong khoảng 0.001 – 0.1.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

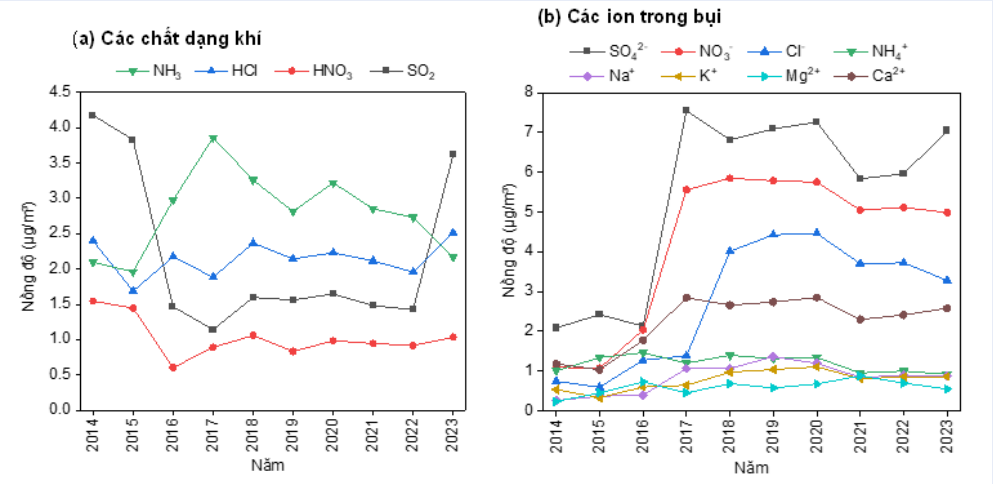
Đánh giá nồng độ của chất ô nhiễm dạng khí và ion trong bụi tại Tp.HCM

Nhìn chung, nồng độ của các chất khí ô nhiễm có xu hướng thay đổi qua các năm không ổn định (Hình 2a). Đối với các chất ô nhiễm dạng khí, nồng độ trung bình giai đoạn năm 2014–2023 của NH_3 và NO_2 lần lượt là 2,79±0,65 $\mu g/m^3$ và 1,03±0,32 $\mu g/m^3$. Kết quả cũng cho thấy nồng độ trung bình năm của SO_2 là 2,04±1,22 $\mu g/m^3$, dao động từ 0,62 đến 6,56 $\mu g/m^3$ và đạt ngưỡng giá trị giới hạn theo Quy chuẩn quốc gia về chất lượng không khí (QCVN 05:2023/BT-NMT) và Tổ chức Y tế Thế giới (WHO)[24]. Đối với các ion, ion SO_4^{2-} và NO_3^- chiếm thành phần cao nhất trong bụi tại Tp.HCM với nồng độ trung bình lần lượt là 5,42±1,19 và 4,23±1,25 $\mu g/m^3$. Các ion có nồng độ thấp nhất là Mg^{2+} và K^+ với nồng độ trung bình lần lượt là 0,59±0,2 và 0,77 ± 0,29 $\mu g/m^3$. Nhìn chung, sự thay đổi nồng độ của đa số các ion bám trong bụi tương đối ổn định qua các năm từ năm 2014 đến năm 2023. Tuy nhiên, nồng độ của một số ion bao gồm Ca^{2+}, Cl^-, NO_3^- và SO_4^{2-} có xu hướng tăng từ năm 2016 đến năm 2020, sau đó giảm vào các năm 2021, 2022 và tăng lại vào năm 2023 (Hình 2b). Sự suy giảm nồng độ của các ion này trong giai đoạn năm 2021 và năm 2022 có thể do ảnh hưởng của dịch COVID-19 làm giảm hoạt động của các quá trình công nghiệp, hoạt động giao thông, sinh hoạt, từ đó làm giảm sự phát thải của các ion này. Ngoài ra, nồng độ của các ion SO_4^{2-} và NO_3^- thường được ghi nhận là chiếm tỷ lệ đóng góp lớn hơn so với các ion khác trong nhiều nghiên cứu về ô nhiễm không khí tại các đô thị lớn, điển hình như Bandung (Indonesia)[8], Lan Châu, Trung Quốc[25], cũng như ở một nghiên cứu tại Thành phố Hồ Chí Minh[26].

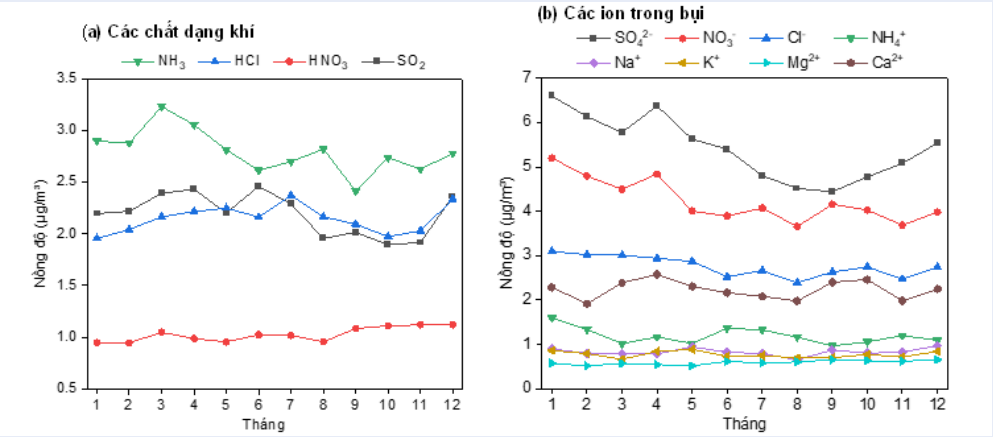
Diễn biến nồng độ trung bình tháng của các chất ô nhiễm được thể hiện trong Hình 3. Đối với các chất khí, nồng độ trung bình tháng của NH_3 và HNO_3 lần lượt là 2,8±0.87 $\mu g/m^3$ và 1,03±0,42 $\mu g/m^3$. Đối với các ion bám trong bụi, ion SO_4^{2-} và NO_3^- có nồng độ cao nhất với nồng độ trung bình lần lượt là 5,42±2,48 và 4,24±2.29 $\mu g/m^3$. Hai ion có nồng độ thấp nhất là Mg^{2+} và K^+ với nồng độ trung bình lần lượt là 0,59±0,28 và 0,77±0,38 $\mu g/m^3$. Nhìn chung, các chất khí và các ion bám trong bụi có sự gia tăng nồng độ vào mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau) và giảm nồng độ vào mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11). Nguyên nhân có thể do ảnh hưởng của quá trình sa lắng ướt từ các hạt mưa cuốn theo các chất ô nhiễm không khí, đặc biệt là các hạt bụi, từ đó làm cho nồng độ của các chất ô nhiễm dạng khí và các ion bám trong bụi suy giảm.

Để đánh giá sự đặc trưng của bụi, các ion NH_4^+, SO_4^{2-} và NO_3^- thường được sử dụng vì những ion này thường chiếm thành phần khá cao trong bụi. Chẳng hạn như khi ion SO_4^{2-} và NO_3^- chiếm tỷ lệ cao hơn NH_4^+ trong hạt bụi, bụi sẽ có tính axit và trở nên độc hại hơn đối với sức khỏe con người. Kết quả tính toán các thông số hỗ trợ đánh giá đặc trưng của bụi tại Tp.HCM trong giai đoạn nghiên cứu được trình bày trong Bảng 1.

Dựa vào Bảng 1, có thể thấy rằng phần lớn sulfat trong bụi tại Tp.HCM là sulfat không có nguồn gốc từ muối biển, với nồng độ trung bình của nss SO_4^{2-} là 5,22 $\mu g/m^3$ và chiếm khoảng 96% tổng lượng sulfat có trong bụi. Điều này phản ánh sự ảnh hưởng của các nguồn phát thải nhân sinh, chẳng như hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch, công nghiệp, và giao thông đến nồng độ sulfat trong bụi tại Tp.HCM. Bên cạnh đó, giá trị của tỷ lệ NH_4^+/ SO_4^{2-} khá thấp, dao động từ 0,18 đến 0,28, trung bình là 0,22±0,03. Điều này cho thấy aerosol trong không khí có tính axit cao. Ngoài ra, tỷ lệ NR (tỷ lệ giữa NH_4^+ và tổng của SO_4^{2-} và NO_3^-) khá thấp, dao động trong khoảng từ 0,10 đến 0,14, trung bình là 0,12±0,02 cho thấy mức độ cân bằng giữa ion NH_4^+ và ion SO_4^{2-} và NO_3^- trong bụi là rất thấp, dẫn đến việc các hạt bụi trong không khí có tính axit cao, gây ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người và môi trường. Kết quả phân tích nồng độ các chất khí cho thấy nồng độ NH_3 cao hơn nồng độ của HNO_3 và SO_2, nhưng nồng độ của các ion NO_3^- và SO_4^{2-} lại cao hơn NH_4^+. Hiện tượng này có thể được giải thích bởi sự bay hơi của ion NH_4^+ bám trên bụi và chuyển hóa ngược về dạng khí NH_3 trong



Hình 2: Nồng độ trung bình năm của các chất ô nhiễm. [Nguồn: Nhóm tác giả]



Hình 3: Nồng độ trung bình tháng của các chất ô nhiễm. [Nguồn: Nhóm tác giả]

điều kiện nhiệt độ môi trường cao. Phân tích tương quan Spearman cho thấy tỷ lệ NH_4^+/NH_3 và nhiệt độ không khí có tương quan âm, với hệ số tương quan là -0,487. Điều này cho thấy khi nhiệt độ không khí càng tăng thì nồng độ NH_4^+ càng giảm và nồng độ NH_3 càng tăng. Cân bằng hóa học giữa NH_3–NH_4^+ vốn rất nhạy cảm với các yếu tố khí tượng như nhiệt độ, độ ẩm và độ axit của hạt bụi. Khi nhiệt độ tăng hoặc khi hàm lượng axit vô cơ (H_2SO_4, HNO_3) giảm, NH_4^+ có xu hướng mất ổn định và giải phóng trở lại thành NH_3. Điều này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây ở những vùng khí hậu nhiệt đới, nơi thường ghi nhận sự chênh lệch giữa nồng độ NH_3 và NH_4^+ trong khí quyển[27]. Tỷ lệ SOR thể hiện quá trình oxy hóa khí SO_2 thành ion nss SO_4^{2-} và dao động trong khoảng từ 0,67 đến 0,74, trung bình đạt 0,7±0,02. Giá trị SOR cao cho thấy có sự oxy hóa quang hóa khí SO_2 dẫn đến sự hình thành aerosol thứ cấp chứa sulfat[20].

Đánh giá mối tương quan giữa yếu tố khí tượng và nồng độ các chất ô nhiễm không khí

Hình 4 thể hiện mối tương quan giữa các chất khí, các ion trong bụi và điều kiện khí tượng tại Tp.HCM trong giai đoạn nghiên cứu. Mối tương quan này được phân tích dựa vào phương pháp Spearman và công cụ R (thư viện *openair*) được dùng để trực quan hóa kết quả phân tích tương quan. Kết quả phân tích cho thấy đa số các chất khí và ion có tương quan nghịch với hướng gió, độ ẩm, và lượng mưa, trong đó NH_3, SO_4^{2-}, NO_3^-, và Cl^- có tương quan nghịch khá cao. Tại Tp.HCM, hướng gió chủ đạo vào mùa khô

Bảng 1: Kết quả của các thông số đánh giá sự đặc trưng của bụi

Tháng	$ssSO_4^{2-}$	$nssSO_4^{2-}$	NR	SOR	NH_4^+/SO_4^{2-}
1	0,22	6,38	0,14	0,74	0,24
2	0,20	5,94	0,12	0,73	0,22
3	0,20	5,58	0,10	0,70	0,18
4	0,20	6,18	0,10	0,72	0,18
5	0,24	5,39	0,11	0,71	0,18
6	0,21	5,20	0,15	0,68	0,25
7	0,20	4,61	0,15	0,67	0,28
8	0,16	4,35	0,14	0,69	0,26
9	0,22	4,22	0,11	0,68	0,22
10	0,20	4,58	0,12	0,71	0,22
11	0,21	4,88	0,14	0,72	0,24
12	0,24	5,30	0,11	0,69	0,20
Trung bình	0,21	5,22	0,12	0,70	0,22
Độ lệch chuẩn	0,02	0,71	0,02	0,02	0,03

[Nguồn: Nhóm tác giả]

và mùa mưa lần lượt là hướng Đông Nam (khoảng 90–180 độ) và hướng Tây Nam (khoảng 180–270 độ) (Hình 5). Điều này cho thấy khi giá trị của hướng gió lớn (mùa mưa) và lượng mưa gia tăng thì nồng độ của các chất ô nhiễm giảm và ngược lại. Mưa là một trong các yếu tố khí tượng làm giảm nồng độ các chất ô nhiễm không khí thông qua quá trình sa lắng ướt. Kết quả phân tích cũng cho thấy vận tốc gió có mối tương quan nghịch với nồng độ các chất ô nhiễm. Gió thổi mạnh làm gia tăng sự phát tán và xáo trộn của chất ô nhiễm trong không khí, từ đó làm cho nồng độ các chất khí và bụi suy giảm.

Ngoài ra, kết quả phân tích tương quan cũng cho thấy các chất như NH_3, SO_4^{2-}, và Cl^- có mối tương quan thuận với thời gian nắng, điều này có thể được giải thích bởi các phản ứng quang hóa trong khí quyển dưới tác động của ánh sáng mặt trời. Khi thời gian nắng dài, NH_3 dễ bay hơi từ các nguồn như phân bón hoặc chất thải hữu cơ, đồng thời ánh sáng mặt trời thúc đẩy quá trình oxy hóa SO_2 thành SO_4^{2-} thông qua phản ứng quang hóa và tạo ra aerosol thứ cấp. Đối với Cl^-, ánh sáng mặt trời cũng có thể kích thích các phản ứng tạo thành các hợp chất chứa Cl^-, làm tăng nồng độ của nó trong không khí.

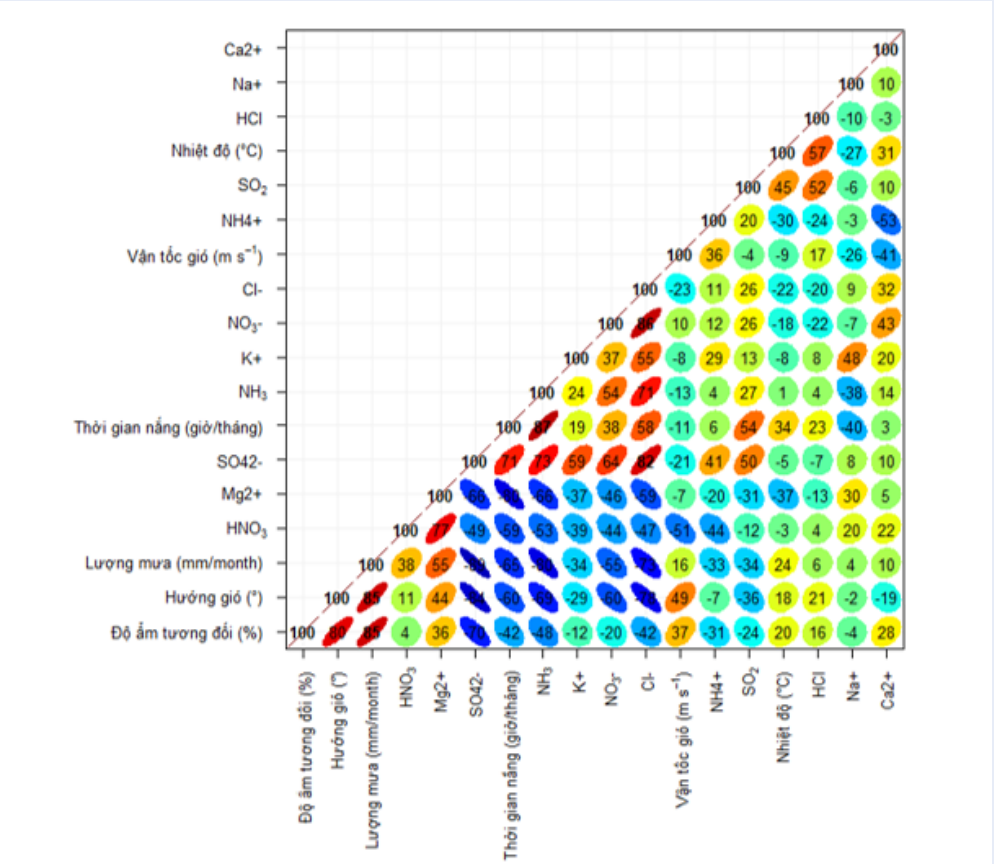
Ứng dụng mô hình PMF xác định nguồn thải của bụi

Việc xác định nguồn thải của bụi và aerosol tại Tp.HCM bằng mô hình PMF được chia theo mùa khô và mùa mưa do điều kiện thời tiết (ví dụ: hướng gió, lượng mưa) và nồng độ chất ô nhiễm không khí tại Tp.HCM có sự thay đổi theo mùa. Nồng độ của các ion SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} trong bụi TSP được dùng để chạy mô hình PMF. Đối với mỗi mùa, số lượng nguồn thải (factor) được xem xét là 2–7 nguồn. Kết quả của các giá trị Q và kết quả bootstrap của các lần chạy mô hình PMF được trình bày trong Bảng 2.

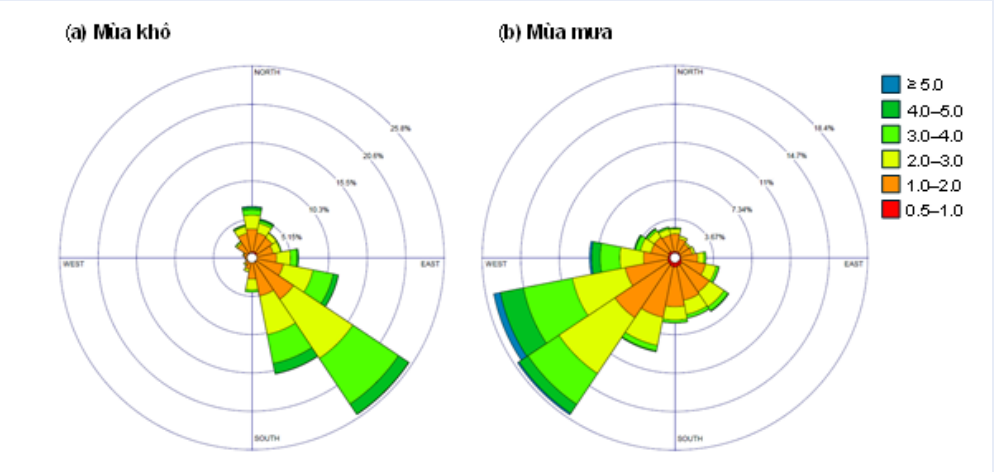
Mùa khô

Dựa vào Bảng 2, vào mùa khô, phương án 4 nguồn thải (factor) được lựa chọn vì có giá trị Q thấp nhất và kết quả chạy bootstrap ổn định nhất. Tương tự như vậy đối với mùa mưa, kết quả chạy mô hình với 6 nguồn thải (factor) là ổn định nhất. Hình 6 thể hiện nồng độ của các chất trong 4 nguồn thải được xác định từ mô hình PMF. Phần trăm đóng góp của từng nguồn thải được trình bày trong Hình 7.

Vào mùa khô, bụi có thể được phát thải từ các hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch, chẳng hạn như đốt than. Đặc trưng của nguồn này là có nồng độ khá cao của ion SO_4^{2-} (Hình 6a) chủ yếu được thải ra từ hoạt động đốt các nhiên liệu hóa thạch[28]. Phần trăm đóng góp của nguồn thải này vào bụi và aerosol vào mùa khô tại Tp.HCM là 21,8%. Nguồn thải thứ hai có thể là từ hoạt động giao thông vận thải (Hình 6b), đặc trưng bởi nồng độ cao của NO_3^- và Ca^{2+} và chiếm tỷ lệ 26.1%. Ion NO_3^- được hình thành chủ yếu từ



Hình 4: Kết quả phân tích tương quan giữa các yếu tố khí tượng và nồng độ các chất ô nhiễm. [Nguồn: Nhóm tác giả]

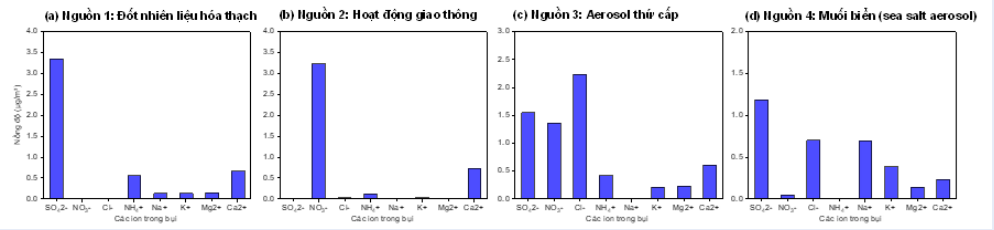


Hình 5: Hướng gió chủ đạo tại Tp.HCM vào (a) mùa khô và (b) mùa mưa. [Nguồn: Nhóm tác giả]

Bảng 2: Kết quả của các phương án chạy mô hình PMF

Thông số đánh giá	Số lượng nguồn thải (factor)					
	2	3	4	5	6	7
Mùa khô						
Q_{robust}	14256	5240	2928	1396	387,8	155,5
Q_{true}	44093	7705	3521	1642	391,3	155,5
Q_{true}/Q_{robust}	3,092	1.470	1.202	1,176	1,008	0,999
$Q_{true}/Q_{expected}$	-2756	-32,65	-7,723	-2,430	-0,436	-0,139
Bootstrap (un-mapped)	0	0	0	4	2	39
Mùa mưa						
Q_{robust}	18991	7424	4459	2180	550,1	251,9
Q_{true}	51782	11795	6859	3580	550,1	251,9
Q_{true}/Q_{robust}	2,726	1,588	1,538	1,641	1	0,999
$Q_{true}/Q_{expected}$	-3236	-35,63	-10,61	-3,725	-0,431	-0,158
Bootstrap (un-mapped)	0	0	2	2	1	22

[Nguồn: Nhóm tác giả]



Hình 6: Đặc trưng thành phần của các nguồn thải trong mùa khô. [Nguồn: Nhóm tác giả]

quá trình đốt cháy nhiên liệu của các phương tiện giao thông[29]. Cụ thể là NOx được thải ra trực tiếp từ hoạt động giao thông, sau đó trải qua các phản ứng oxy hóa để tạo thành HNO_3, và tiếp tục phân ly thành ion NO_3^- dưới dạng các hạt aerosol. Ngoài ra Ca_2^+ cũng là một loại ion được tìm thấy trong bụi đường mà chủ yếu phát sinh từ quá trình giao thông[30].

Nguồn thải thứ ba được đặc trưng bởi các ion SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, và Ca^{2+} (Hình 6c). Những ion này có thể có nguồn gốc từ quá trình hình thành aerosol vô cơ thứ cấp (secondary inorganic aerosol) trong không khí. Các ion vô cơ thứ cấp gồm sulfat (SO_4), nitrat (NO_3) và amoni (NH_4) hình thành từ quá trình oxy hóa các tiền chất dạng khí trong khí quyển. Lưu huỳnh dioxit (SO_2) bị oxy hóa bởi hydroxyl (OH) ở pha khí hoặc hydro peroxit (H_2O_2) và ozon (O_3) để tạo thành ion sulfat (SO_4^{2-}) ở dạng aerosol[31]. Nitơ dioxit (NO_2) phản ứng với hydroxyl vào ban ngày hoặc tạo nitrat (NO_3) và đinitơ pentaoxit (N_2O_5) vào ban đêm, sau đó N_2O_5 thủy phân thành axit nitric (HNO_3), kết hợp với amoniac (NH_3) tạo amoni nitrat (NH_4NO_3) ở dạng aerosol[32]. Amoniac còn phản ứng với axit sulfuric (H_2SO_4) tạo amoni bisunfat (NH_4HSO_4) và amoni sunfat ($(NH_4)_2SO_4$)[33]. Các ion này góp phần hình thành aerosol và bụi mịn (chẳng hạn như $PM_{2.5}$), ảnh hưởng đến môi trường và sức khỏe con người. Đây cũng là nguồn thải chiếm tỉ lệ cao nhất tại Tp.HCM (34,5%).

Nguồn thải thứ tư có thể là từ muối biển (sea salt aerosol), đặc trưng bởi nồng độ cao của các ion SO_4^{2-}, Na^+, và Cl^- (Hình 6d), vốn là những thành phần điển hình của aerosol từ muối biển[34]. Vào mùa khô, Tp.HCM chịu ảnh hưởng của gió mùa Đông

Nam (Hình 5a), mang theo các khối không khí từ biển Đông thổi vào khu vực nội thành. Hiện tượng này góp phần vận chuyển các hợp chất dạng khí và aerosol có nguồn gốc từ biển vào thành phố. Dù nssSO_4^{2-} chiếm tỉ lệ khá thấp nhưng nó cũng góp phần vào sự gia tăng nồng độ của ion SO_4^{2-} trong bụi tại Tp.HCM vào mùa khô. Nguồn đóng góp từ muối biển vào aerosol tại Tp.HCM chiếm tỷ lệ thấp nhất (17,6%).

Mùa mưa

Nguồn thải đầu tiên vào mùa mưa được đặc trưng bởi nồng độ cao của SO_4^{2-} và Cl^- (Hình 8a), đây đều là các chất ô nhiễm thứ cấp hình thành chủ yếu từ quá trình oxy hóa SO_2 và sự phát thải HCl vào khí quyển[35]. Các hợp chất này chủ yếu phát sinh từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch, chẳng hạn như đốt than. Nguồn thải thứ hai được đặc trưng bởi nồng độ cao của NH_4^+ (Hình 8b). Nguồn phát sinh của ion NH_4^+ có thể từ NH_3 thải ra từ các hoạt động nông nghiệp, chẳng hạn như từ phân bón và chăn nuôi gia súc, gia cầm[36]. Vào mùa mưa, hướng gió chủ đạo tại Tp.HCM là hướng Tây Nam (Hình 5b) và các khối không khí di chuyển từ hướng đồng bằng sông Cửu Long đến Tp.HCM[37], tạo điều kiện thuận lợi cho việc vận chuyển các khí và bụi ô nhiễm có nguồn gốc nông nghiệp từ vùng ngoại ô và các tỉnh lân cận vào khu vực đô thị dẫn đến sự gia tăng nồng độ của chất ô nhiễm này.

Với đặc trưng bởi hàm lượng cao của SO_4^{2-}, NO_3^-, và Ca^{2+}, nguồn thải thứ ba (Hình 8c) được xác định là nguồn hỗn hợp của bụi xây dựng và phát thải từ hoạt động giao thông vận tải [30]. Nguồn thứ tư trong mùa mưa (Hình 8d) được xác định là phát thải từ hoạt động giao thông với đặc trưng là nồng độ cao của ion NO_3^-, chủ yếu được tạo ra từ quá trình đốt cháy nhiên liệu của các phương tiện giao thông[29]. Na^+ và K^+ là hai ion đặc trưng có chủ yếu trong quá trình đốt sinh khối[38] và được thể hiện ở nguồn thải thứ năm (Hình 8e). Khí thải từ hoạt động đốt sinh khối có thể phát sinh từ khu vực đồng bằng sông Cửu Long và được di chuyển đến Tp.HCM theo hướng gió Tây Nam (Hình 5b). Ion K^+ và Na^+ là các ion đặc trưng của quá trình đốt sinh khối, chẳng hạn như đốt rơm rạ[38].

Nguồn thải thứ sáu (Hình 8f) được đặc trưng bởi nồng độ cao các ion Ca^{2+} và Mg^{2+}, là những thành phần chủ yếu xuất hiện trong bụi đường[30]. Ion Ca^{2+} có nguồn gốc từ bụi đất phát tán do sự di chuyển của các phương tiện giao thông trên các tuyến đường, đặc biệt trong mùa mưa khi bề mặt đất bị xáo trộn và lầy lội. Cùng với đó, sự hiện diện của ion Mg^{2+} có thể liên quan đến bụi phát sinh từ các hoạt động xây dựng. Các ion này, kết hợp với các chất ô nhiễm như SO_4^{2-} và NO_3^- là những chất thường có trong khí thải giao thông từ đó có thể tạo thành bụi hỗn hợp có thể gọi là nguồn thải bụi đường tại thành phố Hồ Chí Minh vào mùa mưa.

Dựa vào kết quả phân tích tỉ lệ các nguồn thải vào mùa mưa (Hình 7b), có thể thấy phát thải từ hoạt động giao thông vận tải (khoảng 40%), đốt nhiên liệu hóa thạch (20.7%), và bụi đường (18%) đóng góp khá lớn vào hàm lượng bụi và aerosol tại Tp.HCM. Ngoài ra còn có thể kể đến sự ảnh hưởng của các hoạt động nông nghiệp và đốt sinh khối, tuy nhiên sự đóng góp của các nguồn này không đáng kể, chiếm tỷ lệ lần lượt là 10,2% và 4,7%.

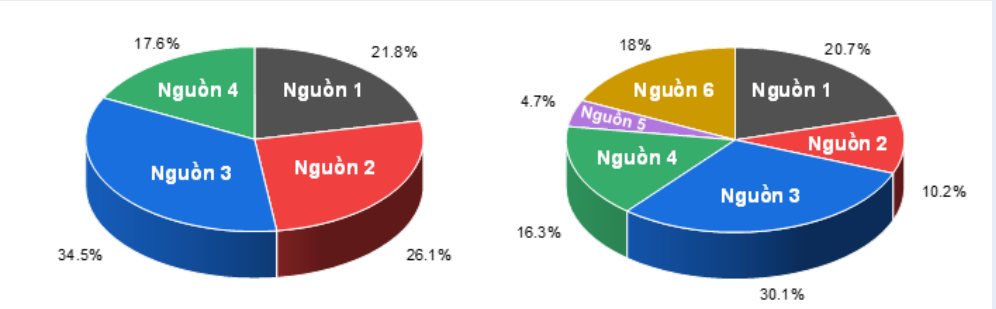
Nhận xét chung

Từ kết quả nghiên cứu, có thể thấy các nguồn thải đóng góp vào nguồn ô nhiễm không khí tại Tp.HCM bao gồm: đốt nhiên liệu hóa thạch, hoạt động giao thông, aerosol thứ cấp, muối biển, hoạt động nông nghiệp, bụi đường và đốt sinh khối. Các nguồn thải này cũng tương tự như nguồn thải trong nghiên cứu về xác định nguồn phát thải của bụi PM tại Hà Nội, trong đó nguồn aerosol thứ cấp cũng chiếm tỉ lệ cao nhất, tiếp theo là khí thải tự bụi đường, và khí thải từ hoạt động giao thông[9]. Ngoài ra, còn có những nguồn ô nhiễm tương tự như đốt than và muối biển. Một nghiên cứu áp dụng mô hình PMF tại hai đô thị lớn là Seoul (Hàn Quốc) và Bắc Kinh (Trung Quốc)[39] cũng chỉ ra rằng các nguồn thải chính đóng góp vào $PM_{2.5}$ có nhiều điểm tương đồng với Thành phố Hồ Chí Minh, nổi bật là giao thông, các thành phần thứ cấp và hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch. Thêm vào đó, nghiên cứu về nguồn thải ô nhiễm không khí tại Bandung (Indonesia)[8] cũng cho thấy có sự khác biệt về ô nhiễm trong mùa mưa và mùa khô tại thành phố này.

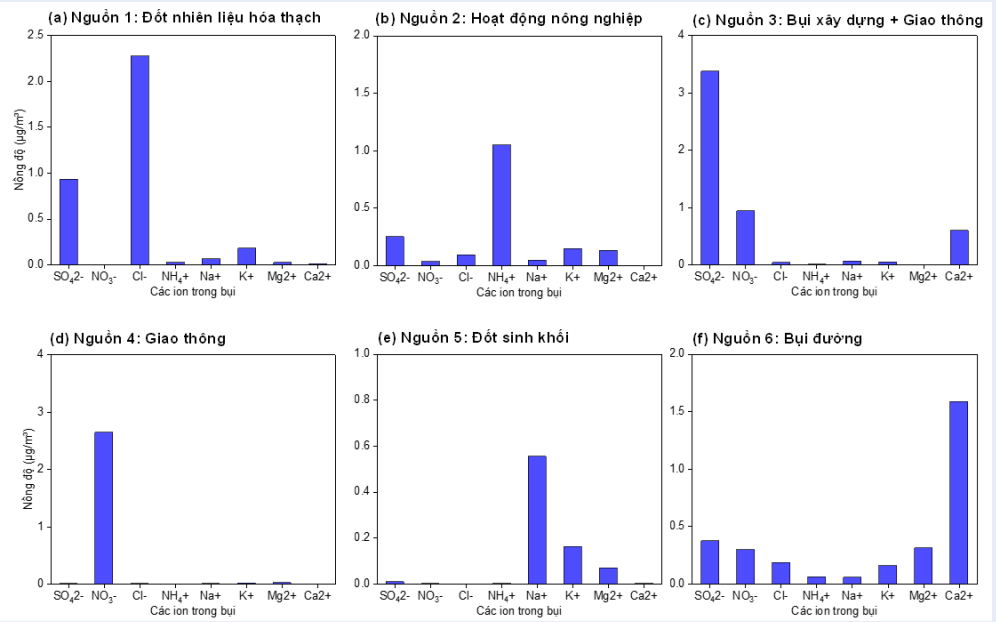
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu về nồng độ và nguồn phát thải một số chất ô nhiễm không khí tại Tp.HCM bằng mô hình PMF cho nồng độ các chất khí và ion đều có xu hướng giảm vào mùa mưa và gia tăng vào mùa khô. SO_4^{2-} và NO_3^- là hai ion chiếm tỷ lệ lớn nhất với nồng độ trung bình trong bụi qua các tháng tại Tp.HCM lần lượt là 5,42±2,48 và 4,24±2.29 $\mu g/m^3$. Đặc biệt, phần lớn sulfat (SO_4^{2-}) không có nguồn gốc từ muối biển (sea salt aerosol) mà chủ yếu từ các hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch và giao thông. Tình trạng thiếu NH_4^+khiến aerosol duy trì tính axit cao và có thể ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe.

Các yếu tố khí tượng như hướng gió, lượng mưa, độ ẩm và thời gian nắng có tương quan nghịch với nồng



Hình 7: Phần trăm đóng góp của các nguồn thải trong (a) mùa khô và (b) mùa mưa. [Nguồn: Nhóm tác giả]



Hình 8: Đặc trưng thành phần của các nguồn thải trong mùa mưa. [Nguồn: Nhóm tác giả]

độ của các chất ô nhiễm dạng khí và các ion bám trong bụi. Kết quả phân tích từ mô hình PMF cho thấy vào mùa khô, bụi và aerosol tại Tp.HCM chủ yếu chịu ảnh hưởng của các aerosol thứ cấp, hoạt động giao thông vận tải, và đốt nhiên liệu hóa thạch, trong đó nguồn aerosol vô cơ thứ cấp chiếm tỉ lệ cao nhất là 34,5 %. Nguồn thải chủ yếu của bụi vào mùa mưa cũng có thể từ hoạt động giao thông vận tải và đốt nhiên liệu hóa thạch, trong đó giao thông vận tải chiếm tỉ lệ cao nhất là 40%.

Thông qua nghiên cứu, có thể thấy bụi ô nhiễm tại TP.HCM chủ yếu bắt nguồn từ hoạt động giao thông vận tải và đốt nhiên liệu hóa thạch. Để giảm thiểu các nguồn thải này, cần ưu tiên phát triển hệ thống giao thông công cộng thuận tiện, an toàn nhằm khuyến khích người dân sử dụng thay thế phương tiện cá nhân. Đồng thời, việc siết chặt và nâng cao tiêu chuẩn khí thải đối với các nhà máy sử dụng nhiên liệu hóa thạch cũng là giải pháp quan trọng nhằm góp phần cải thiện chất lượng không khí đô thị. Các nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào xác định khu vực phát thải của bụi và aerosol tại Tp.HCM, đồng thời xem xét các quá trình sa lắng khô ướt và sa lắng khô của bụi để tăng tính chính xác của việc xác định nguồn thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A EP. Particulate matter (PM) basics. EPA. 2025;.
2. Allen SAA, Ree AG, Ayodeji SAM, Deborah SAE, Ejike OM. Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health. Biodiversity International Journal. 2019;3(6):249–259.
3. Kleinman MT, Phalen RF, Mautz WJ, Mannix RC, McClure TR, Crocker TT. Health effects of acid aerosols formed by atmospheric mixtures. Environ Health Perspect. 1989;79(Feb):137–

45. PMID: 2707193. Available from: https://doi.org/10.1289/ehp.8979137.
4. EPA, "Positive Matrix Factorization model for environmental data analyses," 2025.
5. Cesari D, Amato F, Pandolfi M, Alastuey A, Querol X, Contini D. An inter-comparison of PM10 source apportionment using PCA and PMF receptor models in three European sites. Environmental Science and Pollution Research;23:15133–15148.
6. Ke L, Liu W, Wang Y, Russell AG, Edgerton ES, Zheng M. Comparison of PM2.5 source apportionment using positive matrix factorization and molecular marker-based chemical mass balance. Science of The Total Environment. 2008;394(2-3):290–302.
7. Heo J, Hopke PK, Yi SM. Source apportionment of PM2.5 in Seoul, Korea. Atmospheric Chemistry and Physics. 2008;9(14):4957–4971.
8. Lestari P, Mauliadi YD. Source apportionment of particulate matter at urban mixed site in Indonesia using PMF. Atmospheric Environment. 2009;43(10):1760–1770.
9. Hien PD, Bac VT, Thinh NTH, Anh HL, Thang DD, Nghia NT. A comparison study of chemical compositions and sources of PM1.0 and PM2.5 in Hanoi. Aerosol and Air Quality Research. 2021;21(10).
10. Mai X. Cả bụi mịn lẫn tiếng ồn ở TP.HCM đều vượt chuẩn. Tuoi Tre. 2022;Available from: https://tuoitre.vn/ca-bui-min-lan-tieng-on-o-tp-hcm-deu-vuot-chuan-20221220091456898.htm.
11. Ho TH, Dang CV, Pham TTB, Wangwongwatana S. Assessment of health and economic benefits of reducing fine particulate matter (PM2.5) concentration in Ho Chi Minh City, Vietnam. Hygiene and Environmental Health Advances. 2023;6:100045.
12. Huy DH, Đ T Chí N, Phú NLS, Hiền TT. Bụi PM2.5 ở Thành phố Hồ Chí Minh: Phân tích hiện trạng và quy luật biến đổi theo thời gian dựa trên số liệu đo liên tục 2013-2017. Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ: Khoa học Tự nhiên. 2018;2(5):130–137.
13. Ho BQ, Vu HNK, Nguyen TTT, Nguyen TT, Nguyen TTH, Khoa NTD, et al. Photochemical modeling of PM2.5 and design measures for PM2.5 reduction: A case of Ho Chi Minh City, Vietnam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;652(1):012025.
14. EANET. "Site information/Vietnam - Ho Chi Minh." (accessed 05/11, 2025).
15. EANET, "Technical Manual for Air Concentration Monitoring in East Asia," 2013.
16. EANET, "Overview of EANET monitoring system," in "Acid Depostition Monitoring Network in East Asia EANET.;.
17. EANET, "Technical document for filter pack method in East Asia," 2003.
18. ECMWF. "ERA5: How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?" ECMWF;Available from: https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=133262398.
19. Squizzato S, Masiol M, Brunelli A, Pistollato S, Tarabotti E, Rampazzo G, et al. Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: a casestudy in the Po Valley (Italy. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 2012;13(4).
20. Shi G, Xu J, Shi X, Liu B, Bi X, Xiao Z, et al. Aerosol pH Dynamics During Haze Periods in an Urban Environment in China: Use of Detailed, Hourly, Speciated Observations to Study the Role of Ammonia Availability and Secondary Aerosol Formation and Urban Environment. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2019;124(16):9730–9742.
21. Sedgwick P. Spearman's rank correlation coefficient. BMJ. 2014;349:7327.
22. Carslaw DC, Ropkins K. Openair — An R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. 2012;27-28:52–61.
23. R. Duvall and G. Norris, "EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 fundamentals and user guide," in "EPA," 2014;.
24. WHO, "WHO Global air quality guidelines," 2021.
25. Cheng B, Ma HLY, Feng F, Zhang Y, Qin P. Water-soluble ions and source apportionment of PM2.5 depending on synoptic weather patterns in an urban environment in spring dust season. Scientific Reports. 2022;12:21953.
26. Huy DH, Hien TT, Takenaka N. Influence of urban outflow on water-soluble ions in PM2.5 and >PM2.5 particles at a suburban Ho Chi Minh City site, Vietnam. Atmospheric Research. 2022;272:106144.
27. Cao JJ, Zhang T, Chow JC, Watson JG, Wu F, Li H. Characterization of atmospheric ammonia over Xi'an, China. Aerosol and Air Quality Research. 2009;9(2):277–289.
28. Zhang Y, Yang L, Bie S, Zhao T, Huang Q, Li J, et al. Chemical compositions and the impact of sea salt in atmospheric PM1.0 and PM2.5 in the coastal area. Atmospheric Research. 2021;250:105323.
29. Bari A, a VF, b LRW, b DL, c LH. Measurements of gaseous HONO, HNO3, SO2, HCl, NH3, particulate sulfate and PM2.5 in New York, NY. Atmospheric Environment. 2003;37(20):2825–2835.
30. Li Y, Hao Q, Wen T, Ji D, Liu Z, Wang Y, et al. Pollution characteristics of water-soluble Ions in aerosols in the urban area in Beibei of Chongqing. Aerosol and Air Quality Research. 2018;18(7).
31. Xue J, Yu X, Yuan Z, Griffith SM, Lau AKH, Seinfeld JH, et al. Efficient control of atmospheric sulfate production based on three formation regimes. Nature Geoscience. 2019;12:977–982.
32. Harrison RM, Pio CA. An investigation of the atmospheric HNO3–NH3–NH4NO3 equilibrium relationship in a cool, humid climate. Tellus B. 1983;35B(2):155–159.
33. Guo W, Zheng N, Zhang Z. Stable nitrogen isotopic signatures reveal the NH4+ evolution processes in pollution episodes in urban southwestern China. Atmospheric Research. 2021;253.
34. Tran N, Fujii Y, Khan MF, Hien TT, Minh TH, Okochi H, et al. Source apportionment of ambient PM2.5 in Ho Chi Minh City, Vietnam. Asian Journal of Atmospheric Environment. 2024;18(1).
35. Khezri B. Chemical analysis and statistical study on the composition of airborne particulate matter (PM2.5 and PM10), aerosols (PM2.5) inorganic trace gases and precipitation in Singapore between 2009 – 2012. Singapore; 2012.
36. Zhang Z, Zeng Y, Zheng N, Luo L, Xiao H, Xiao H. Fossil fuel-related emissions were the major source of NH3 pollution in urban cities of northern China in the autumn of 2017. Environmental Pollution. 2020;256:113428.
37. Hien TT, Chi NDT, Nguyen NT, Vinh LX, Takenaka N, Huy DH. Current Status of Fine Particulate Matter (PM2.5) in Vietnam's Most Populous City, Ho Chi Minh City. Aerosol and Air Quality Research. 2019;19(10):2239–2251.
38. Yu J, Yan C, Liu Y, Li X, Zhou T, Zheng M. Potassium: A tracer for biomass burning in Beijing? Aerosol and Air Quality Research. 2018;18(9):2447–2459.
39. Park J, Kim H, Kim Y, Heo J, Kim SW, Jeon K, et al. Source apportionment of PM2.5 in Seoul, South Korea and Beijing, China using dispersion normalized PMF. Science of The Total Environment. 2022;833:155056.

VNUHCM Journal of Environment and Earth Sciences 2026, 10(1):1272-1284

Research Article

Open Access Full Text Article

Concentration variations and emission source identification of ions and metals bound particulate matters in center area of Ho Chi Minh C ity

Tran Phuoc Tan, Nguyen Thi Tuyet Nam*

Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Air pollution in megacities remains a challenge due to its negative effects on human health. This study was conducted to evaluate the concentrations of selected air pollutants and to identify the emission sources of particulate matters (PM) in Ho Chi Minh City using the Positive Matrix Factorization (PMF) model. The target air pollutants included gaseous compounds (i.e., SO_2, HNO_3, HCl, NH_3) and particulate-bound ions (i.e., SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, Mg^{2+}, K^+, and Ca^{2+}). Data on these substances were retrieved from the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). The results showed that pollutant concentrations tended to increase and decrease during the dry and rainy seasons, respectively. Among the ions, SO_4^{2-} and NO_3^- were predominant, primarily originating from fossil fuel combustion and vehicular emission. Additionally, meteorological parameters, such as wind direction, precipitation, humidity, and sunshine duration, exhibited negative correlations with the concentrations of both gaseous pollutants and PM-bound ions. PMF model analysis revealed that secondary aerosol formation might contribute significantly to PM concentrations during the dry season,. Furthermore, transportation activities and fossil fuel combustion were identified as the major sources of PM emission across both seasons. The findings of this study contribute to a better understanding of the current state of PM pollution in Ho Chi Minh City, thereby supporting decision-making related to air pollution mitigation in the region.

Key words: ions, metals, aerosol, emission source, PMF

Faculty of Engineering and Technology, Saigon University, Vietnam

Correspondence

Nguyen Thi Tuyet Nam, Faculty of Engineering and Technology, Saigon University, Vietnam

Email: ntnam@sgu.edu.vn

History

- Received: 29-05-2025
- Revised: 05-11-2025
- Accepted: 09-06-2026
- Published Online: 25-06-2026

DOI : https://doi.org/10.32508/vnuhcmjees.v10i1.821

Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Cite this article : Phuoc Tan T, Tuyet Nam N T. **Concentration variations and emission source identification of ions and metals bound particulate matters in center area of Ho Chi Minh C ity**. *VNUHCM J. Environ. Earth Sci.* 2026; 10(1):1272-1284.