

Bài báo khoa học

## Đặc điểm và ảnh hưởng của nghịch nhiệt đến nồng độ bụi mịn ( $PM_{2.5}$ ) tại thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Thị Tuyết Nam<sup>1\*</sup>, Nguyễn Ngọc Trinh<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Minh Thu<sup>1</sup>, Phạm Thế Bảo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường, Trường Đại học Sài Gòn; ntnam@sgu.edu.vn; ntmthu@sgu.edu.vn

<sup>2</sup> Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; trinhnn@hcmunre.edu.vn

<sup>3</sup> Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Sài Gòn; ptbao@sgu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: ntnam@sgu.edu.vn; Tel.: +84-779534930

Ban Biên tập nhận bài: 15/1/2023; Ngày phản biện xong: 23/2/2023; Ngày đăng bài: 25/2/2023

**Tóm tắt:** Nghịch nhiệt là hiện tượng nhiệt độ không khí ở tầng đối lưu tăng theo chiều cao và thường xảy ra trong điều kiện khí quyển ổn định. Sự nghịch nhiệt hạn chế sự phân tán và góp phần làm tăng nồng độ của các chất ô nhiễm không khí. Nghiên cứu này nhằm tìm hiểu đặc điểm và ảnh hưởng của nghịch nhiệt đến nồng độ bụi mịn  $PM_{2.5}$  dựa vào dữ liệu thám không và dữ liệu quan trắc nồng độ  $PM_{2.5}$  tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 2019–2020. Kết quả nghiên cứu cho thấy khí quyển có xu hướng ổn định hơn và cường độ của nghịch nhiệt cũng cao hơn vào buổi sáng của mùa khô và buổi tối của mùa mưa. Cường độ nghịch nhiệt lớn có thể làm hạn chế sự xáo trộn và phân tán của bụi mịn  $PM_{2.5}$ , từ đó làm gia tăng nồng độ  $PM_{2.5}$  tại lớp khí quyển gần mặt đất. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy có sự gia tăng nồng độ  $PM_{2.5}$  vào những ngày xảy ra nghịch nhiệt do sự phân tán của  $PM_{2.5}$  trong không khí suy giảm, từ đó làm tăng nồng độ của  $PM_{2.5}$ . Ngược lại, vào những ngày không xảy ra nghịch nhiệt, nồng độ  $PM_{2.5}$  trong không khí có xu hướng giảm vì khả năng phân tán của  $PM_{2.5}$  được cải thiện.

**Từ khóa:** Nghịch nhiệt; Ổn định khí quyển;  $PM_{2.5}$ ; Bụi mịn.

### 1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm không khí có thể ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người [1]. Phơi nhiễm với  $PM_{2.5}$  (bụi có kích thước hạt nhỏ hơn  $2,5 \mu m$ ) có thể làm tăng nguy cơ nhiễm các bệnh về đường hô hấp vì  $PM_{2.5}$  có thể đi sâu vào hệ hô hấp của con người, ví dụ phế nang [2]. Nồng độ của  $PM_{2.5}$  trong môi trường không khí có thể bị tác động bởi nhiều yếu tố khí tượng, bao gồm vận tốc gió, lượng mưa, nhiệt độ không khí, và hiện tượng nghịch nhiệt của khí quyển.

Nghịch nhiệt là hiện tượng nhiệt độ không khí ở tầng đối lưu tăng theo chiều cao của tầng khí quyển [3] và thường xảy ra trong điều kiện khí quyển ổn định. Sự nghịch nhiệt có thể được phân loại thành nghịch nhiệt mặt đất (*radiation inversion*) và nghịch nhiệt lắng chìm (*subsidence inversion*). Hiện tượng nghịch nhiệt mặt đất, còn được gọi là nghịch nhiệt bề mặt, xảy ra chủ yếu vào ban đêm [4] khi nhiệt độ tại mặt đất thấp hơn nhiệt độ tại lớp không khí phía trên. Hiện tượng nghịch nhiệt lắng chìm hình thành khi có sự lắng chìm của khối không khí. Sau đó, khối khí này bị nén lại và có nhiệt độ cao hơn lớp không khí bên dưới do sự gia tăng áp suất khí quyển [3]. Hiện tượng nghịch nhiệt hạn chế sự phân tán của các chất ô nhiễm không khí, từ đó làm tăng mức độ ô nhiễm không khí [5]. Kết quả một số nghiên cứu trước đây đã cho thấy nồng độ ô nhiễm  $PM_{2.5}$  có liên quan đến hiện tượng nghịch nhiệt

[6–11]. Chẳng hạn như nồng độ của một số chất ô nhiễm không khí, bao gồm CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, và bụi mịn PM<sub>2.5</sub>, gia tăng khi xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt tại thành phố Hà Nội [6].

Trong số các chất gây ô nhiễm không khí nêu trên, PM<sub>2.5</sub> (bụi mịn có đường kính nhỏ hơn 2,5 μm) là chất ô nhiễm được quan trắc thường xuyên hơn vì các hóa chất có hại cho sức khỏe con người (ví dụ: kim loại, ion và hợp chất hữu cơ như hydrocacbon thơm đa vòng) có thể được hấp thụ và hấp phụ vào PM<sub>2.5</sub> [1]. Ngoài ra, vì PM<sub>2.5</sub> có kích thước nhỏ nên chất ô nhiễm này có thể xâm nhập sâu vào hệ thống hô hấp của con người thông qua hoạt động hít thở và gây ra một số bệnh như bệnh phổi, hen suyễn và suy hô hấp cấp tính. Vì vậy, cần phải tìm hiểu về các yếu tố có thể ảnh hưởng đến mức độ ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>, bao gồm nguồn thải, và tải lượng phát thải, điều kiện khí tượng để có thể hạn chế sự ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>.

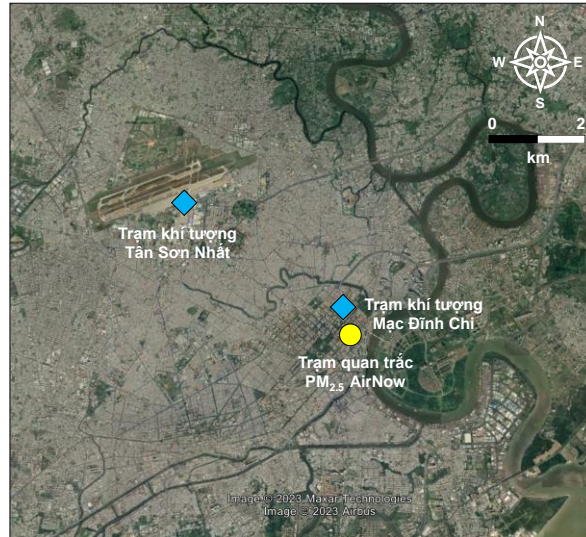
Thành phố Hồ Chí Minh có khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt, bao gồm mùa khô kéo dài từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau và mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11. Tại thành phố Hồ Chí Minh, các chất ô nhiễm không khí (ví dụ như PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> (bụi có kích thước hạt nhỏ hơn 10 μm), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> và CO) chủ yếu được phát khí từ hoạt động giao thông, hoạt động công nghiệp, công trường xây dựng, và nấu nướng hộ gia đình [12–14]. Hầu hết các nghiên cứu trước đây về ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> tại thành phố Hồ Chí Minh chủ yếu tập trung vào đánh giá diễn biến nồng độ PM<sub>2.5</sub> theo thời gian, đánh giá sự ảnh hưởng của một số yếu tố khí tượng (ví dụ: nhiệt độ không khí, vận tốc gió, lượng mưa) đến nồng độ PM<sub>2.5</sub>, và tính toán kiểm kê các nguồn phát thải PM<sub>2.5</sub>. Bên cạnh đó, sự ổn định của khí quyển và hiện tượng nghịch nhiệt cũng có thể góp phần làm gia tăng nồng độ PM<sub>2.5</sub> trong môi trường không khí [6–11]. Tuy nhiên, thông tin về sự nghịch nhiệt và mối liên hệ giữa hiện tượng này với sự ô nhiễm không khí tại thành phố Hồ Chí Minh vẫn còn khá hạn chế. Chính vì vậy, nghiên cứu này bước đầu tìm hiểu đặc điểm của hiện tượng nghịch nhiệt và mối tương quan giữa hiện tượng này và nồng độ PM<sub>2.5</sub> trong mùa khô và mùa mưa tại thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả của nghiên cứu có thể là cơ sở để đề xuất các giải pháp hạn chế sự ô nhiễm của PM<sub>2.5</sub> tại thành phố Hồ Chí Minh.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và cơ sở dữ liệu

### 2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Để xác định sự nghịch nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh, dữ liệu thám không (*atmospheric sounding*), bao gồm dữ liệu về điều kiện khí tượng tại các độ cao khí quyển từ 10 m đến 2,000 m được thu thập thông qua trang thông tin Wyoming Weather thuộc Đại học Wyoming (Mỹ). Vị trí đặt trạm quan trắc là sân bay quốc tế Tân Sơn Nhất, mã số và tên của trạm lần lượt là 48900 và VVTS (Hình 1). Kinh độ và vĩ độ của trạm là 106°39'36"E và 10°48'36"N, độ cao của trạm là 10 m so với mực nước biển. Dữ liệu thám không được thu thập tại 2 mốc thời gian mỗi ngày: 00Z (7 giờ sáng giờ địa phương) và 12Z (7 giờ tối giờ địa phương). Dữ liệu thu thập bao gồm giá trị của các thông số như nhiệt độ không khí, tốc độ gió, hướng gió, áp suất không khí được quan trắc tại độ cao khí quyển từ 10 m đến 2,000 m tính từ mặt đất. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu quan trắc trong thời gian từ 1/1/2019 đến 31/12/2020, vì vậy, có tổng cộng 1,460 bộ dữ liệu thám không đã được thu thập và phân tích.

Để tìm hiểu sự ảnh hưởng của hiện tượng nghịch nhiệt đến sự ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>, dữ liệu về nồng độ PM<sub>2.5</sub> tại thành phố Hồ Chí Minh được thu thập từ mạng lưới quan trắc chất lượng không khí AirNow. Trạm quan trắc này được đặt tại Lãnh sự quán Mỹ thành phố Hồ Chí Minh (vĩ độ: 10°46'58,76"N, kinh độ: 106°42'2,05"E) (Hình 1). Bụi mịn PM<sub>2.5</sub> được quan trắc bằng thiết bị giám sát suy giảm beta (beta attenuation monitors) [15]. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu quan trắc PM<sub>2.5</sub> trong giai đoạn 1/1/2019–31/12/2020. Để đảm bảo chất lượng của dữ liệu, các giá trị khuyết và giá trị bất thường của nồng độ PM<sub>2.5</sub> được loại bỏ. Ngoài ra, dữ liệu về lượng mưa được thu thập từ trạm khí tượng Mạc Đĩnh Chi (vĩ độ: 10°47'3,72"N, kinh độ: 106°42'1,04"E), cách vị trí quan trắc PM<sub>2.5</sub> khoảng 100 m.



**Hình 1.** Vị trí trạm quan trắc PM<sub>2.5</sub> thuộc mạng lưới AirNow và vị trí các trạm quan trắc khí tượng tại thành phố Hồ Chí Minh.

## 2.2. Phương pháp xác định sự nghịch nhiệt

Sự nghịch nhiệt được xác định dựa theo phương pháp như sau [16]:

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{R/(c_{p,air} M_{air})} \quad (1)$$

với  $\theta$  (K) là thế năng gradient nhiệt độ,  $T$  (K) là nhiệt độ tại áp suất không khí  $p$  (hPa).  $p_0$  là áp suất tiêu chuẩn (1,000 hPa).  $R$  là hằng số khí lý tưởng (8.3145 J/mol/K).  $c_{p,air}$  là nhiệt dung riêng của không khí (1006 J/kg/K).  $M_{air}$  là khối lượng không khí (0,028964 kg/mol).

Độ ổn định khí quyển được xác định dựa vào tỷ số giữa  $\partial\theta$  (K) và  $\partial z$  (m) [17]. Trong đó  $z$  (m) là các độ cao khí quyển được xem xét, bao gồm từ 10 m đến 3,000 m.  $\partial\theta$  là sự khác biệt thế năng gradient nhiệt độ giữa hai độ cao khí quyển khác nhau. Tương tự,  $\partial z$  là khác biệt độ cao giữa hai tầng khí quyển xem xét. Nếu giá trị  $\partial\theta/\partial z$  dương hoặc thế năng gradient nhiệt độ  $\theta$  tỷ lệ thuận với sự độ cao của khí quyển  $z$  thì khí quyển ổn định và có sự nghịch nhiệt. Ngược lại, nếu giá trị  $\partial\theta/\partial z$  âm thì khí quyển không ổn định và không có sự nghịch nhiệt. Nếu thế năng gradient nhiệt độ  $\theta$  không thay đổi theo độ cao khí quyển ( $\partial\theta = 0$ ) thì khí quyển ở điều kiện trung hòa [18]. Cường độ của sự nghịch nhiệt cũng được tính toán để tìm hiểu đặc điểm của hiện tượng này tại thành phố Hồ Chí Minh. Cường độ nghịch nhiệt là sự thay đổi nhiệt độ khí quyển trong 100 m đầu tiên so với mặt đất [19] và được biểu thị bằng °C/100m.

## 2.3. Phương pháp xử lý dữ liệu

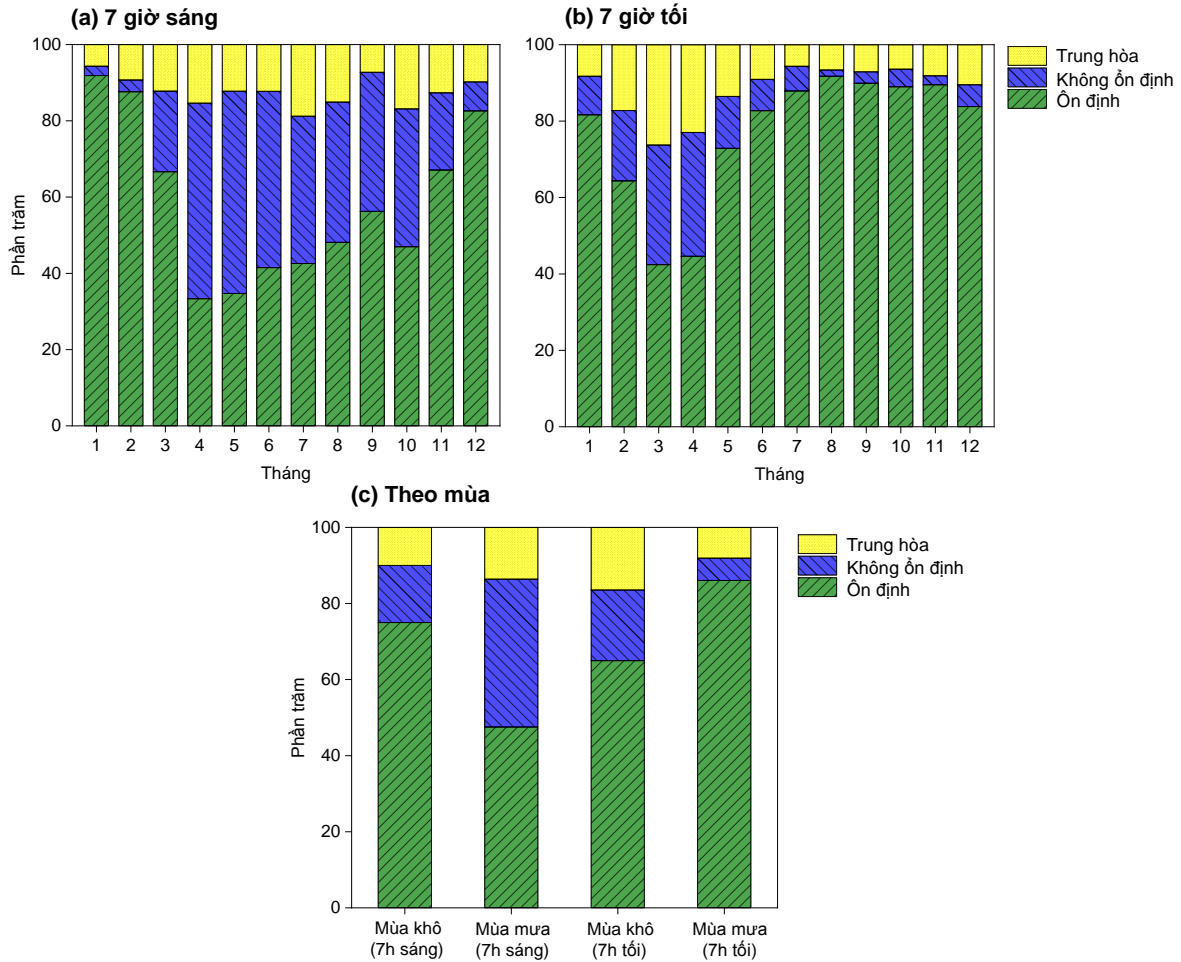
Nghiên cứu này sử dụng ngôn ngữ lập trình Python, thư viện *numpy* [20], *pandas* [21], và *scipy* để xử lý và phân tích dữ liệu thám không và dữ liệu nồng độ PM<sub>2.5</sub>. Phần mềm OriginPro 2020 (*OriginLab, US*) được sử dụng để trực quan hóa kết quả phân tích. Để đánh giá sự ảnh hưởng của nghịch nhiệt và các điều kiện khí tượng đến nồng độ PM<sub>2.5</sub>, phân tích tương quan Spearman được sử dụng và phân tích bằng phần mềm Origin.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Đặc điểm của sự nghịch nhiệt

Sự nghịch nhiệt thường xảy ra trong điều kiện khí quyển ổn định. Tần suất trung bình của sự ổn định khí quyển trong các tháng được thể hiện trong hình 2. Nhìn chung, khí quyển có xu hướng ổn định hơn vào buổi sáng của mùa khô (7 giờ sáng) và buổi tối của mùa mưa (7 giờ tối) (Hình 2). Điều này có thể do vào mùa mưa, các trận mưa tại thành phố Hồ Chí

Minh có xu hướng diễn ra từ chiều đến tối. Bên cạnh đó, sau khi mưa, nhiệt độ của lớp không khí gần mặt đất thấp hơn nhiệt độ của các lớp không khí phía trên, từ đó dẫn đến hiện tượng nghịch nhiệt và làm cho khí quyển ổn định hơn vào buổi tối của mùa mưa. Tuy nhiên, sự nghịch nhiệt này có xu hướng biến mất vào buổi sáng khi bức xạ mặt trời làm nóng nhiệt độ của lớp không khí gần mặt đất. Vì vậy, tần suất của hiện tượng nghịch nhiệt vào lúc 7 giờ sáng của mùa mưa không cao. Quan sát tương tự về hiện tượng nghịch nhiệt cũng đã được báo cáo [22].

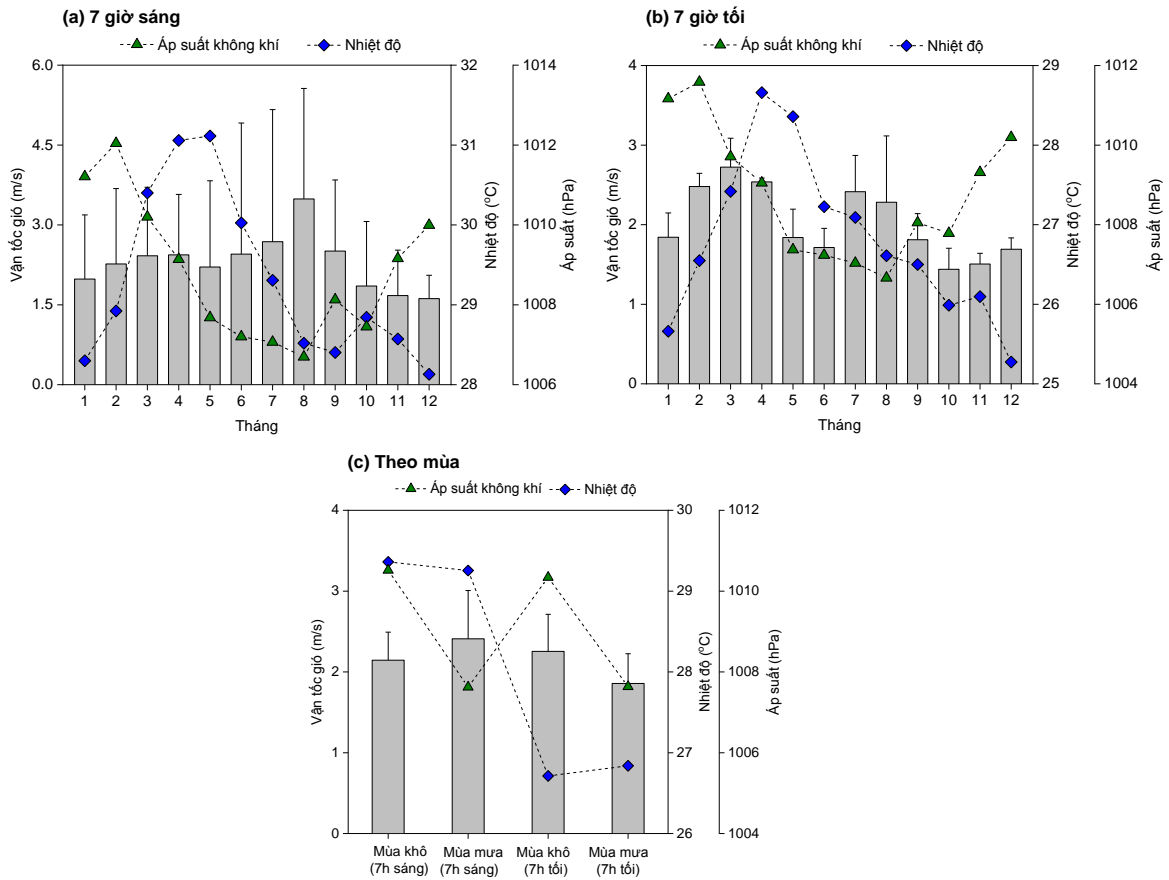


**Hình 2.** Tần suất của sự ổn định khí quyển vào lúc 7 giờ sáng: (a) 7 giờ tối; (b) theo mùa; (c) tại thành phố Hồ Chí Minh.

Khi xét đồng thời cả hai thời điểm 7 giờ sáng và 7 giờ tối, hình 2 cũng cho thấy hiện tượng nghịch nhiệt có xu hướng xảy ra thường xuyên hơn và khí quyển có thể ổn định hơn vào các tháng 1, 2, 11, và 12. Vận tốc gió của các tháng này khá thấp (Hình 3), phản ánh một trong những đặc trưng của điều kiện thời tiết khi xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt. Sự gia tăng vận tốc gió có thể dẫn đến sự gia tăng sự xáo trộn của khí quyển và từ đó làm suy giảm hiện tượng nghịch nhiệt [23]. Ngoài ra, áp suất không khí trung bình của các tháng 1, 2, 11, và 12 cũng cao hơn so với các tháng còn lại (Hình 3). Khi áp suất không khí gia tăng, khối khí có xu hướng lắng xuống lớp khí bên dưới và bị nén lại, làm cho nhiệt độ của khối khí này cao hơn và dẫn đến hiện tượng nghịch nhiệt.

Về cường độ nghịch nhiệt, nghịch nhiệt vào buổi sáng (7 giờ sáng) của mùa khô có cường độ cao gấp 2,3 lần so với mùa mưa (mùa khô:  $1,1 \pm 0,5^\circ\text{C}/100\text{m}$ , mùa mưa:  $0,5 \pm 0,2^\circ\text{C}/100\text{m}$ ). Cường độ nghịch nhiệt lớn hơn trong mùa khô có thể làm hạn chế sự xáo trộn và phân tán của bụi mịn  $\text{PM}_{2.5}$ , từ đó làm gia tăng nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  tại lớp không khí gần mặt đất [23]. Vào lúc 7 giờ tối, cường độ nghịch nhiệt vào mùa mưa cao hơn (mùa mưa:  $1,3 \pm 0,1^\circ\text{C}/100\text{m}$ , mùa khô:  $0,9 \pm 0,1^\circ\text{C}/100\text{m}$ ). Như đã đề cập phía trên, vào mùa mưa các trận

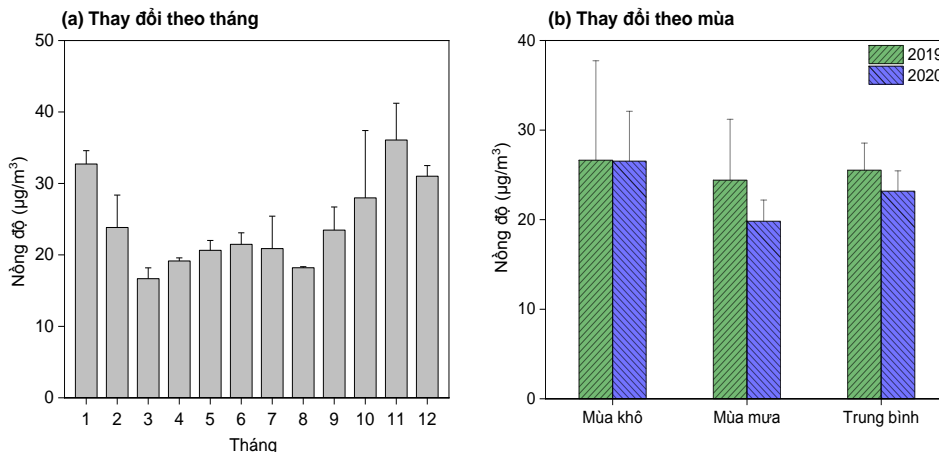
mưa ở thành phố Hồ Chí Minh có xu hướng kéo dài từ chiều đến tối [24]. Các cơn mưa có thể khiến nhiệt độ của lớp không khí gần mặt đất suy giảm và thấp hơn nhiệt độ của các lớp không khí bên trên, từ đó dẫn đến hiện tượng nghịch nhiệt mạnh hơn vào buổi tối của mùa mưa.



**Hình 3.** Giá trị trung bình của các thông số thời tiết vào lúc 7 giờ sáng: (a) 7 giờ tối; (b) theo mùa; (c) tại thành phố Hồ Chí Minh.

### 3.2. Đặc điểm của nồng độ PM<sub>2.5</sub>

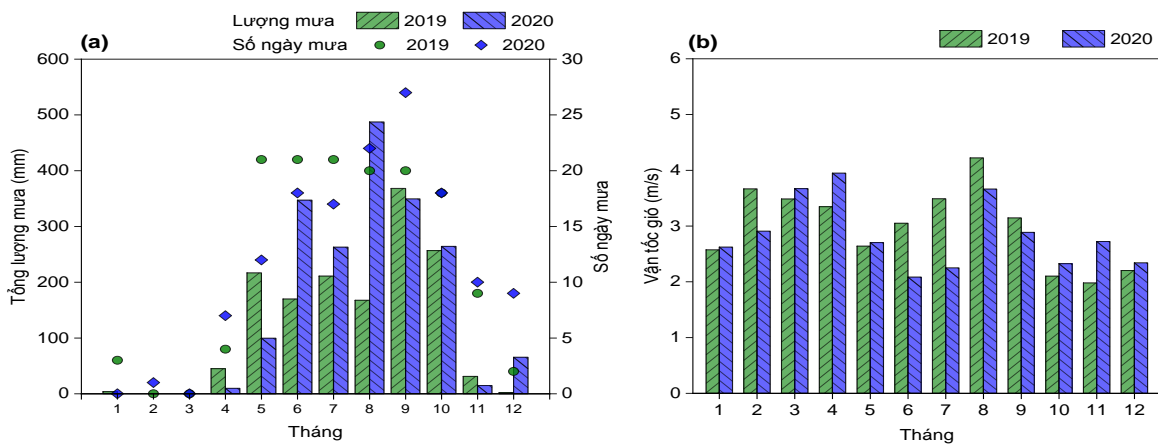
Nhìn chung, nồng độ trung bình 24 giờ của PM<sub>2.5</sub> vào năm 2019 dao động từ 15,1–42,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , giá trị trung bình là 25,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Giá trị nồng độ này cao hơn so với nồng độ của năm 2020 (17,2–32,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , trung bình: 23,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tuy nhiên, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nồng độ trung bình 24 giờ của PM<sub>2.5</sub> vào năm 2019 và 2020 (*Mann–Whitney t-test*,  $P = 0,442$ ).



**Hình 4.** Nồng độ trung bình của PM<sub>2.5</sub> theo tháng (a) và theo mùa (b) tại thành phố Hồ Chí Minh.



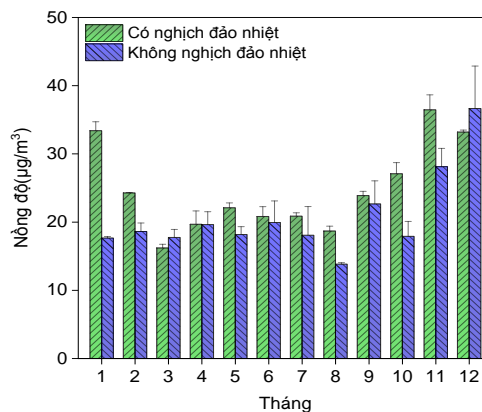
Về sự thay đổi theo mùa, nồng độ  $PM_{2.5}$  trong mùa khô (nhỏ nhất – lớn nhất: 17,2–42,6  $\mu g/m^3$ , trung bình: 25,1  $\mu g/m^3$ ) cao hơn khoảng 2,0 lần so với nồng độ trong mùa mưa (nhỏ nhất – lớn nhất: 15,1–36,7  $\mu g/m^3$ , trung bình: 22,1  $\mu g/m^3$ ). Kết quả của các nghiên cứu trước đây về quan trắc  $PM_{2.5}$  tại Việt Nam và trên thế giới cũng cho thấy nồng độ  $PM_{2.5}$  cao hơn vào mùa khô [14, 22]. Ngoài ra, nguyên nhân của nồng độ  $PM_{2.5}$  thấp vào mùa mưa là do sự sa lắng ướt của các hạt bụi mịn  $PM_{2.5}$  dưới tác động của lượng mưa và tần suất mưa cao hơn trong mùa mưa (tháng 5 đến tháng 11). Về sự thay đổi theo tháng, nồng độ  $PM_{2.5}$  trong các tháng 10 đến tháng 1 cao hơn từ 1,4–2,0 lần cao hơn so với các tháng còn lại (Hình 4). Lượng mưa và số ngày mưa trong khoảng thời gian từ tháng 10 đến tháng có xu hướng thấp hơn (Hình 3a), do đó bụi mịn  $PM_{2.5}$  ít bị sa lắng ướt hơn và dẫn đến gia tăng sự tích tụ  $PM_{2.5}$  trong không khí. Ngoài ra, tốc độ gió trong các tháng 10 đến tháng 1 khá thấp (1,9–2,5 m/s) (Hình 5b). Vì vậy, sự phân tán của  $PM_{2.5}$  có thể bị suy giảm đồng thời sự tích tụ  $PM_{2.5}$  trong không khí gia tăng, dẫn đến nồng độ  $PM_{2.5}$  trong không khí ở thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn từ tháng 10 đến tháng 1 có xu hướng cao hơn.



Hình 5. Tổng lượng mưa, số ngày mưa (a) và vận tốc gió (b) tại thành phố Hồ Chí Minh.

### 3.3. Mối tương quan giữa sự nghịch nhiệt và nồng độ $PM_{2.5}$

Hình 6 thể hiện nồng độ trung bình theo tháng của  $PM_{2.5}$  vào những ngày có và không có sự nghịch nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh. Nhìn chung, nồng độ trung bình của  $PM_{2.5}$  gia tăng vào những ngày có hiện tượng nghịch nhiệt (mùa khô:  $27,2 \pm 9,1 \mu g/m^3$ , mùa mưa:  $22,2 \pm 4,9 \mu g/m^3$ ).

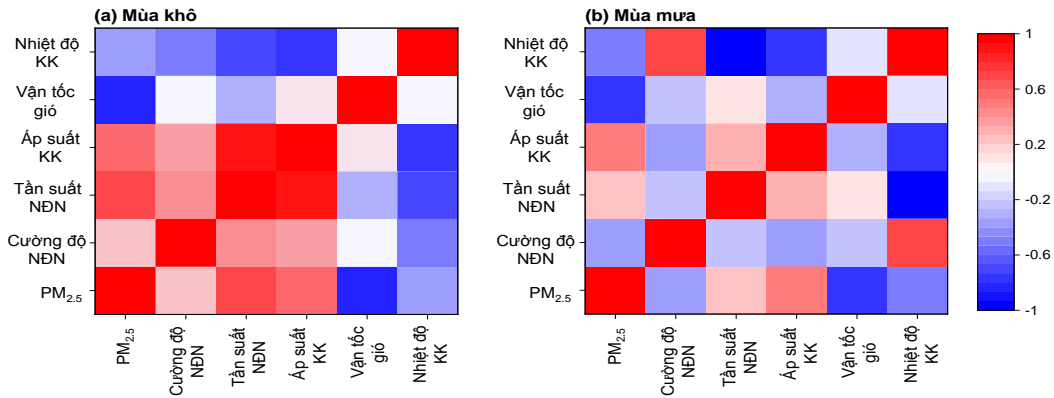


Hình 6. Nồng độ trung bình theo tháng của  $PM_{2.5}$  vào những ngày có và không có nghịch nhiệt.

Khi xảy ra sự nghịch nhiệt, sự phân tán của  $PM_{2.5}$  trong không khí suy giảm [7], đồng thời sự tích tụ của  $PM_{2.5}$  trong không khí ngày càng tăng [25], từ đó làm gia tăng nồng độ của  $PM_{2.5}$  trong không khí. Ngược lại, vào những ngày không có hiện tượng nghịch nhiệt,  $PM_{2.5}$  gia tăng sự phân tán, vì vậy nồng độ  $PM_{2.5}$  vào những ngày này có xu hướng thấp hơn

(mùa khô:  $23,0 \pm 8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mùa mưa:  $18,4 \pm 4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Điều này cho thấy sự nghịch nhiệt có thể làm gia tăng nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  tại thành phố Hồ Chí Minh.

Bên cạnh đó, cường độ và tần suất của sự nghịch nhiệt cũng tỷ lệ thuận với nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  trong cả mùa khô và mùa mưa (Hình 7). Các yếu tố khí tượng khác, chẳng hạn như lượng mưa và vận tốc gió có thể có sự tương quan với  $\text{PM}_{2.5}$ , vì gió càng mạnh thì sự phân tán  $\text{PM}_{2.5}$  trong không khí càng cao. Ngoài ra, sự sa lắng lướt của  $\text{PM}_{2.5}$  khi mưa cũng có thể làm giảm nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$ .



**Hình 7.** Ma trận hệ số tương quan Spearman giữa nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  và các thông số khí tượng (NĐN: nghịch nhiệt; KK: không khí).

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này cho thấy khí quyển tại thành phố Hồ Chí Minh có xu hướng ổn định hơn và cường độ của sự nghịch nhiệt cũng cao hơn vào buổi sáng của mùa khô (7 giờ sáng) và buổi tối của mùa mưa (7 giờ tối). Tuy nhiên, sự ổn định khí quyển này có xu hướng suy giảm vào buổi sáng khi lớp không khí gần mặt đất được làm nóng do tác động của bức xạ mặt trời. Ngoài ra, cường độ nghịch nhiệt lớn có thể làm hạn chế sự xáo trộn và phân tán của bụi mịn  $\text{PM}_{2.5}$ , từ đó làm gia tăng nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  trong không khí.

Bên cạnh đó, nồng độ trung bình của  $\text{PM}_{2.5}$  vào những ngày xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt cao hơn so với những ngày không xảy ra hiện tượng này. Sự nghịch nhiệt làm suy giảm khả năng phân tán và làm gia tăng mức tích tụ của  $\text{PM}_{2.5}$  trong không khí, từ đó làm gia tăng nồng độ của  $\text{PM}_{2.5}$ . Ngược lại, vào những ngày không xảy ra nghịch nhiệt,  $\text{PM}_{2.5}$  gia tăng sự phân tán, vì vậy nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  vào những ngày này có xu hướng suy giảm. Nghiên cứu này bước đầu tập trung vào đánh giá sự ảnh hưởng của điều kiện khí quyển đến hiện tượng nghịch nhiệt và tìm hiểu mối tương quan giữa hiện tượng nghịch nhiệt và nồng độ bụi mịn  $\text{PM}_{2.5}$ . Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố khác đến hiện tượng nghịch nhiệt (chẳng hạn như cấu trúc đô thị), đồng thời tìm hiểu về sự ảnh hưởng của hiện tượng nghịch nhiệt đến nồng độ các chất ô nhiễm không khí khác tại thành phố Hồ Chí Minh.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T.N; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.M.T.; Xử lý số liệu: P.T.B.; Phân tích số liệu: N.T.M.T.; Viết bản thảo bài báo: N.N.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.N.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành có sự hỗ trợ về mặt dữ liệu của Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ, Mạng lưới quan trắc AirNow, và Trạm khí tượng thuộc mạng lưới Wyoming Weather. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Sài Gòn trong khuôn khổ đề tài mã số CSB2021-07.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

### Tài liệu tham khảo

1. Manisalidis, I.; Stavropoulou, E.; Stavropoulos, A.; Bezirtzoglou, E. Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Front. Public Health* **2020**, *8*, 14.
2. Xing, Y.F.; Xu, Y.H.; Shi, M.H.; Lian, Y.X. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system. *J. Thorac. Dis.* **2016**, *8(1)*, E69–E74.
3. Phillpot, H.R.; Zillman, J.W. The surface temperature inversion over the Antarctic Continent. *J. Geophys. Res.* **1970**, *75(21)*, 4161–4169.
4. Whiteman, C.D. Breakup of Temperature Inversions in Deep Mountain Valleys: Part I. Observations. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **1982**, *21(3)*, 270–289.
5. Enz, J.W.; Hofman, V.; Thostenson, A. Air temperature inversions: Causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift. 2019.
6. Trinh, T.T.; Le, T.T.; Nguyen, T.D.H.; Tu, B.M. Temperature inversion and air pollution relationship, and its effects on human health in Hanoi City, Vietnam. *Environ. Geochem. Health* **2019**, *41(2)*, 929–937.
7. Wallace, J.; Corr, D.; Kanaroglou, P. Topographic and spatial impacts of temperature inversions on air quality using mobile air pollution surveys. *Sci. Total Environ.* **2010**, *408(21)*, 5086–5096.
8. Olofson, K.F.G.; Andersson, P.U.; Hallquist, M.; Ljungström, E.; Tang, L.; Chen, D.; Pettersson, J.B.C. Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversions. *Atmos. Environ.* **2009**, *43(2)*, 340–346.
9. Chambers, S.D.; Wang, F.; Williams, A.G.; Xiaodong, D.; Zhang, H.; Lonati, G. Crawford, J.; Griffiths, A.D.; Ianniello, A.; Allegrini, I. Quantifying the influences of atmospheric stability on air pollution in Lanzhou, China, using a radon-based stability monitor. *Atmos. Environ.* **2015**, *107*, 233243.
10. Coccia, M. The effects of atmospheric stability with low wind speed and of air pollution on the accelerated transmission dynamics of COVID–19. *Int. J. Environ. Stud.* **2020**, *78(1)*, 1–27.
11. Reiminger, N.; Jurado, X.; Vazquez, J.; Wemmert, C.; Blond, N.; Dufresne, M.; Wertel, J. Effects of wind speed and atmospheric stability on the air pollution reduction rate induced by noise barriers. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* **2020**, *200*, 104160.
12. Bang, H.Q.; Nguyen, H.D.; Vu, K.; Hien, T.T. Photochemical smog modelling using the air pollution chemical transport model (TAPM–CTM) in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Environ. Model. Assess.* **2019**, *24(3)*, 295–310.
13. Ho, B.Q. Modeling PM<sub>10</sub> in Ho Chi Minh City, Vietnam and evaluation of its impact on human health. *Sustain. Environ. Res.* **2017**, *27(2)*, 95–102.
14. Hien, T.T.; Chi, N.D.T.; Nguyen, N.T.; Vinh, L.X.; Takenaka, N.; Huy, D.H. Current status of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in Vietnam’s most populous city, Ho Chi Minh City. *Aerosol Air Qual. Res.* **2019**, *19(10)*, 2239–2251.
15. Shukla, K.; Aggarwal, S.G. A Technical Overview on Beta–Attenuation Method for the Monitoring of Particulate Matter in Ambient Air. *Aerosol Air Qual. Res.* **2022**, *22*, 220195.
16. Visscher, A.D. Meteorology for air dispersion modellers. *Air Dispersion Modeling* **2013**, pp. 60–140.
17. Feng, X.; Wei, S.; Wang, S. Temperature inversions in the atmospheric boundary layer and lower troposphere over the Sichuan Basin, China: Climatology and impacts on air pollution. *Sci. Total Environ.* **2020**, *726*, 138579.
18. Whiteman, C.D.; McKee, T.B. Breakup of Temperature Inversions in Deep Mountain Valleys: Part II. Thermodynamic Model. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **1982**, *21(3)*, 290–302.
19. EPA. Discussion paper: Validation of inversion strength estimation method. 2014.



20. Harris, C.R.; Millman, K.J.; van der Walt, S.J.; Gommers, R.; Virtanen, P.; Cournapeau, D.; Wieser, E.; Taylor, J.; Berg, S.; Smith, N. J.; Kern, R.; Picus, M.; Hoyer, S.; van Kerkwijk, M. H.; Brett, M.; Haldane, A.; del Río, J. F.; Wiebe, M.; Peterson, P.; Gérard-Marchant, P.; Sheppard, K.; Reddy, T.; Weckesser, W.; Abbasi, H.; Gohlke, C.; Oliphant, T. E. Array programming with NumPy. *Nature* **2020**, 585 (7825), 357–362.
21. McKinney, W. Data Structures for Statistical Computing in Python. presented at the The 9<sup>th</sup> Python in Science Conference (Scipy 2010), 2010.
22. Talukdar, S.; Jana, S.; Maitra, A. Variation of black carbon concentration associated with rain events at a tropical urban location. *Curr. Sci.* **2014**, 107(1), 72–78.
23. Al-Hemoud, A.; Al-Sudairawi, M.; Al-Rashidi, M.; Behbehani, W.; Al-Khayat, A. Temperature inversion and mixing height: critical indicators for air pollution in hot arid climate. *Nat. Hazards* **2019**, 97(1), 139–155.
24. H.C.M.C.P. Committee. Report on climate evaluation of Ho Chi Minh City. 2021.
25. Li, X.; Hu, X.M.; Ma, Y.; Wang, Y.; Li, L.; Zhao, Z. Impact of planetary boundary layer structure on the formation and evolution of air-pollution episodes in Shenyang, Northeast China. *Atmos. Environ.* **2019**, 214, 116850.

## Characteristics and effect of the temperature inversion on concentrations of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in Ho Chi Minh City

Nguyen Thi Tuyet Nam<sup>1\*</sup>, Nguyen Ngoc Trinh<sup>2</sup>, Nguyen Thi Minh Thu<sup>1</sup>, Pham The Bao<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Environment, Saigon University; ntnam@sgu.edu.vn, ntmthu@sgu.edu.vn

<sup>2</sup> Faculty of Environment, Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; trinhnn@hcmunre.edu.vn

<sup>3</sup> Faculty of Information Science, Saigon University; ptbao@sgu.edu.vn

**Abstract:** A temperature inversion occurs when the temperature of the air rises with height and this phenomenon usually happens under stable atmospheric conditions. The temperature inversion prevents dispersion of air pollutants and thus contributes to an increase in pollutant concentrations in the atmosphere. The purpose of this study is to better understand the features and effect of the temperature inversion on the concentration of fine particulate matter (also called PM<sub>2.5</sub>) in Ho Chi Minh City using data on radiosonde and PM<sub>2.5</sub> concentrations in the period of 2019–2020. The results demonstrate that the atmosphere is more stable, and the strength of temperature inversions is greater in the morning (7 a.m. local time) of the dry season and in the evening (7 p.m. local time) of the rainy season. The higher intensity of the temperature inversion can discourage the diffusion and dispersion of PM<sub>2.5</sub>, leading to an increase in the PM<sub>2.5</sub> concentrations near the ground surface. Additionally, the research results demonstrated an increase in PM<sub>2.5</sub> concentration on inversion days, that is, on days with a temperature inversion. In contrast, on non-inversion days (days without a temperature inversion), PM<sub>2.5</sub> concentrations are likely to fall because of the improved dispersion.

**Keywords:** Temperature inversion; Atmospheric stability; PM<sub>2.5</sub>; Fine particulate matter.