

Bài báo khoa học

Đánh giá giá trị Nitơ Đioxit (NO₂) đối lưu tại Việt Nam giai đoạn 2010–2020

Nguyễn Thị Tuyết Nam^{1*}, Trần Phước Tân¹, Nguyễn Hoàng Gia Huy¹, Nguyễn Thị Hoa¹

¹ Khoa Môi trường, Đại học Sài Gòn; ntnam@sgu.edu.vn; drawt2003@gmail.com; gia Huy61103@gmail.com; nthoa@sgu.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 6/5/2023; Ngày phản biện xong: 14/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Nitơ đioxit (NO₂) đối lưu là tổng lượng phân tử NO₂ trên một đơn vị diện tích trong cột khí quyển tính từ bề mặt Trái đất đến tầng đối lưu. Trong nghiên cứu này, giá trị NO₂ đối lưu truy xuất từ cảm biến OMI của vệ tinh AURA được thu thập nhằm đánh giá diễn biến theo thời gian và sự phân bố theo không gian địa lý của NO₂ đối lưu trên toàn Việt Nam giai đoạn năm 2010-2020. Mối liên hệ giữa NO₂ đối lưu và các yếu tố kinh tế - xã hội cũng được đánh giá dựa vào phương pháp phân tích cụm phân cấp. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị trung bình của NO₂ đối lưu tại Việt Nam dao động nhẹ trong giai đoạn năm 2010-2020. Ngoài ra, giá trị NO₂ đối lưu đạt cao nhất vào mùa khô, đặc biệt là tháng 3 và tháng 4, và giảm dần vào mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 9). Bên cạnh đó, khu vực đồng bằng sông Hồng và Nam Trung Bộ lần lượt có giá trị NO₂ đối lưu cao nhất và thấp nhất so với các khu vực còn lại của cả nước. Kết quả phân tích cụm phân cấp cho thấy NO₂ đối lưu có mối liên hệ với mật độ dân số, số lượng dân số, và thu nhập bình quân theo đầu người, đặc biệt tại miền Bắc và miền Nam.

Từ khóa: NO₂; NO₂ đối lưu; Cảm biến vệ tinh; OMI/Aura; Việt Nam.

1. Giới thiệu

Nitơ dioxide (NO₂) là khí chủ yếu được tạo ra từ quá trình đốt cháy các loại nhiên liệu hóa thạch [1] và NO₂ là một trong những loại khí gây ô nhiễm không khí phổ biến [2]. Sự phơi nhiễm với không khí ô nhiễm NO₂ có thể gây ảnh hưởng không tốt đối với sức khỏe con người, chẳng hạn như gây bệnh hen suyễn và dị ứng hô hấp [3]. Nồng độ NO₂ trong không khí có thể đo tại mặt đất bằng máy đo nồng độ NO₂ liên tục hoặc gián đoạn. Ngoài ra, hàm lượng NO₂ trong không khí cũng có thể được truy xuất dựa vào dữ liệu thu thập bởi cảm biến vệ tinh [4] với tên gọi là NO₂ đối lưu.

NO₂ đối lưu là tổng lượng phân tử NO₂ trên một đơn vị diện tích xét trong cột khí quyển từ bề mặt Trái đất đến tầng đối lưu [4]. Giá trị NO₂ đối lưu được tính toán dựa vào bức xạ thu được bởi cảm biến vệ tinh, bức xạ mặt trời, hệ số khối lượng không khí (*air mass factor*), và giá trị NO₂ mô phỏng từ mô hình hoá chất và di chuyển (*chemical and transport model - CTM*) [5]. Hiện nay, giá trị NO₂ đối lưu trên toàn cầu có thể được đo lường dựa vào dữ liệu ghi nhận bởi các cảm biến gắn trên các loại vệ tinh, chẳng hạn như thiết bị quan trắc ozone (OMI) từ vệ tinh AURA, thiết bị quan trắc tầng đối lưu (*TROPOMI*) từ vệ tinh Sentinel-5 Precursor (*Sentinel 5P*) [6].

Từ năm 2004, dữ liệu ghi nhận bởi cảm biến OMI trên vệ tinh AURA (OMI/AURA) đã được sử dụng để tính toán giá trị NO₂ đối lưu trên toàn cầu [5]. Vì có tính ổn định khá cao,

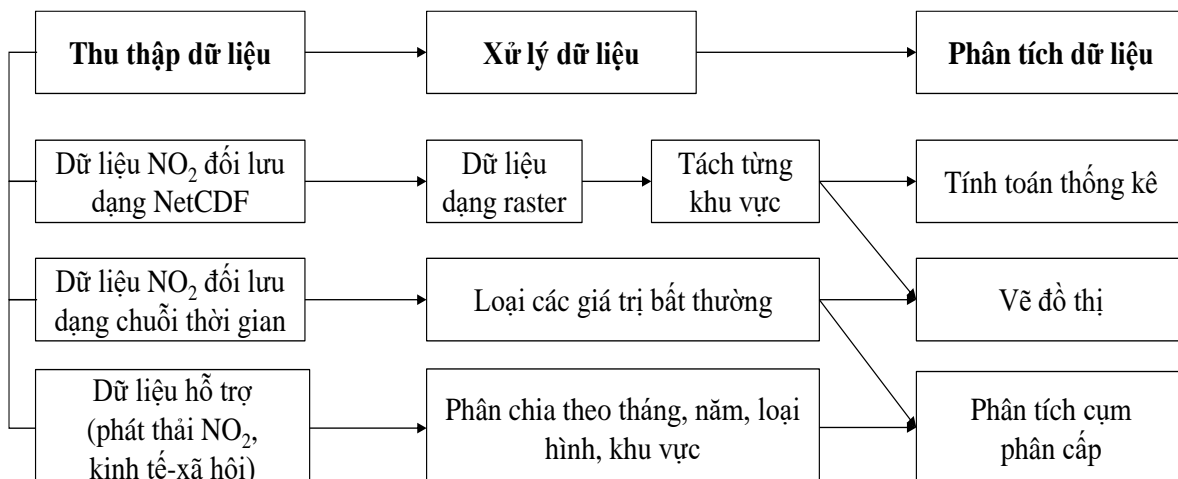
dữ liệu NO_2 đối lưu từ OMI/AURA đã được sử dụng rộng rãi nhằm dự đoán nồng độ và đánh giá mật độ NO_2 trong tầng đối lưu của khí quyển, từ đó theo dõi xu hướng thay đổi của NO_2 theo thời gian và phân bố không gian địa lý. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã dùng dữ liệu về NO_2 đối lưu truy xuất từ thiết bị OMI/AURA để đánh giá xu hướng thay đổi của NO_2 đối lưu theo mùa tại Trung Quốc [7–9], theo tháng và phân bố địa lý tại Châu Âu [10] và Đức [11], và theo giai đoạn thời gian dài (chẳng hạn như 10 năm) trên toàn cầu [12–15] tại Đông Bắc Á [16], Đài Loan [17], Trung Quốc [18,19], và Mỹ [20].

Tại Việt Nam, việc sử dụng dữ liệu từ cảm biến vệ tinh để đánh giá sự thay đổi của NO_2 theo phân bố không gian địa lý và theo thời gian đã được thực hiện bởi một số nhóm nghiên cứu. Cụ thể là sự phân bố không gian của NO_2 đối lưu tại một số khu vực của Việt Nam và sự thay đổi giá trị NO_2 đối lưu theo thời gian (theo ngày và giai đoạn 4-5 năm) tại các khu vực này đã được đánh giá dựa trên dữ liệu NO_2 đối lưu từ thiết bị OMI/AURA [21–23]. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị NO_2 đối lưu tại Việt Nam có khuynh hướng tăng vào mùa khô (nhất là vào tháng 2 và tháng 3) và giảm vào mùa mưa (chủ yếu là tháng 7 và tháng 8) [22]. Xét về mặt phân bố không gian, NO_2 đối lưu tại khu vực Đông Bắc Bộ và đồng bằng sông Hồng có giá trị lớn hơn so với những khu vực còn lại của cả nước [21, 23]. Ngoài ra, khi xét giá trị NO_2 đối lưu tại các thành phố lớn của cả nước, thành phố Hà Nội ghi nhận mức NO_2 đối lưu cao nhất, tiếp theo là thành phố Hồ Chí Minh và sau đó là thành phố Đà Nẵng [21].

Tuy nhiên, việc đánh giá diễn biến của NO_2 đối lưu trong khoảng thời gian dài (chẳng hạn như 10 năm) và việc đánh giá mối liên hệ giữa NO_2 đối lưu và các yếu tố kinh tế - xã hội tại Việt Nam vẫn chưa được thực hiện. Vì vậy, nghiên cứu này nhằm tìm hiểu sự thay đổi theo thời gian (theo từng tháng và từng năm) và sự phân bố theo không gian địa lý của NO_2 đối lưu trên toàn Việt Nam trong 11 năm (từ năm 2010 đến năm 2020). Ngoài ra, sự thay đổi của NO_2 đối lưu theo từng năm tại từng khu vực của Việt Nam cũng được đánh giá nhằm tìm hiểu diễn biến ô nhiễm NO_2 tại các khu vực này (gồm đồng bằng sông Hồng, Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Tây Nguyên, Nam Trung Bộ, Đông Nam Bộ, và đồng bằng sông Cửu Long). Bên cạnh đó, mối liên hệ giữa giá trị NO_2 đối lưu và các yếu tố kinh tế - xã hội tại từng khu vực cũng được đánh giá nhằm bước đầu tìm hiểu về ảnh hưởng của các yếu tố này đến sự ô nhiễm NO_2 tại Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

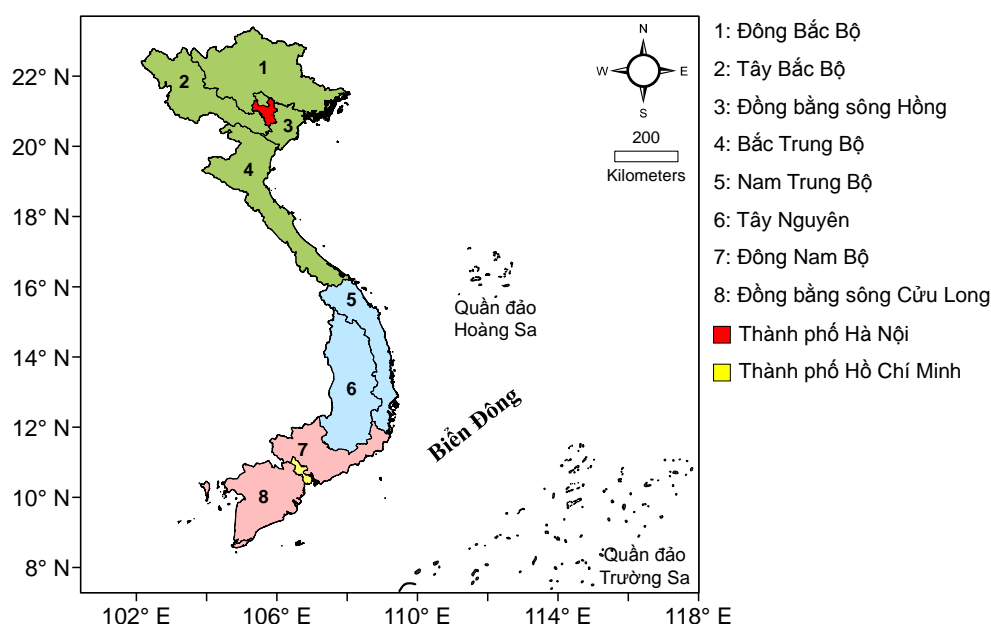
Quy trình thực hiện nghiên cứu được thể hiện tóm tắt trong hình 1. Đầu tiên, các loại dữ liệu bao gồm giá trị NO_2 đối lưu và các loại dữ liệu hỗ trợ khác được thu thập. Sau đó, dữ liệu được xử lý và phân tích nhằm đánh giá diễn biến theo thời gian và phân bố không gian của NO_2 đối lưu tại Việt Nam.



Hình 1. Quy trình thực hiện nghiên cứu.

2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu NO₂ đối lưu truy xuất từ cảm biến OMI của vệ tinh AURA (OMI/AURA). Dữ liệu NO₂ đối lưu tại Việt Nam giai đoạn 2010-2020 ở dạng dữ liệu đa chiều (*NetCDF – Network Common Data Form*) và dạng dữ liệu chuỗi thời gian được thu thập từ Trung tâm Dịch vụ Thông tin và Dữ liệu Khoa học Trái đất Goddard thuộc Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Hoa Kỳ (NASA) (https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMNO2_003/). Giá trị NO₂ đối lưu được cảm biến OMI của vệ tinh AURA ghi nhận vào lúc 13:45 mỗi ngày (giờ địa phương). Nhóm nghiên cứu sử dụng dữ liệu NO₂ đối lưu có độ phân giải không gian là $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (dữ liệu cấp độ 3, OMNO2d v003), độ phân giải thời gian của dữ liệu là 1 ngày. Để hạn chế sai số của dữ liệu, nghiên cứu này chỉ sử dụng giá trị NO₂ đối lưu được truy xuất khi độ mây che phủ vào thời điểm đo nhỏ hơn 30%. Sau khi dữ liệu được thu thập, dữ liệu tiếp tục được xử lý để đánh giá sự phân bố không gian và xu hướng thay đổi theo thời gian của NO₂ đối lưu trên toàn Việt Nam và theo 8 vùng, bao gồm đồng bằng sông Hồng, Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Tây Nguyên, Nam Trung Bộ, Đông Nam Bộ, và đồng bằng sông Cửu Long (Hình 2).



Hình 2. Vị trí địa lý của các khu vực nghiên cứu.

Ngoài ra, để hỗ trợ việc giải thích và đánh giá giá trị NO₂ đối lưu, lượng NO₂ được thải ra từ các nguồn thải nhân tạo tại Việt Nam từ năm 2010 đến năm 2020 cũng được thu thập từ bộ dữ liệu phát thải khí ô nhiễm toàn cầu (*CAMS Global anthropogenic emissions*) [24]. Các nguồn thải được xem xét bao gồm giao thông vận tải, sản xuất công nghiệp, sản xuất năng lượng, hoạt động dân sinh, và đốt phụ phẩm nông nghiệp (ví dụ: rơm rạ sau thu hoạch). Ngoài ra, để đánh giá mối quan hệ giữa NO₂ đối lưu và các yếu tố kinh tế-xã hội, dữ liệu về mật độ dân số, số lượng dân số, thu nhập bình quân theo đầu người, và chỉ số sản xuất công nghiệp tại từng khu vực trong cả nước giai đoạn năm 2010-2020 cũng được thu thập từ trang thông tin của Tổng cục Thống kê (<https://www.gso.gov.vn/>).

2.2. Phương pháp xử lý dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu NO₂ đối lưu dạng NetCDF

Phần mềm ArcMap được sử dụng để chuyển dữ liệu NO₂ đối lưu ở dạng đa chiều (NetCDF) thành dạng raster nhằm thể hiện giá trị của NO₂ đối lưu trên toàn Việt Nam dưới dạng hình ảnh. Các giá trị thống kê, bao gồm giá trị trung bình, giá trị nhỏ nhất, giá trị lớn

nhất, và độ lệch chuẩn của NO₂ đối lưu cũng được tính toán bằng phần mềm ArcMap. Sau đó, dữ liệu raster thể hiện giá trị NO₂ đối lưu toàn Việt Nam được tách theo 8 khu vực, bao gồm đồng bằng sông Hồng, Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Tây Nguyên, Nam Trung Bộ, Đông Nam Bộ, và đồng bằng sông Cửu Long. Tiếp theo, giá trị NO₂ đối lưu của các khu vực này được tính toán thống kê theo giá trị trung bình, giá trị nhỏ nhất, giá trị lớn nhất và độ lệch chuẩn. Các giá trị thống kê này được sử dụng để vẽ đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị NO₂ đối lưu của từng khu vực giai đoạn năm 2010-2020.

2.2.2. Dữ liệu NO₂ đối lưu dạng chuỗi thời gian:

Dữ liệu NO₂ đối lưu trên toàn Việt Nam ở dạng chuỗi thời gian theo từng ngày từ năm 2010 đến năm 2020 được kiểm tra để loại bỏ các giá trị bất thường. Sau đó giá trị trung bình tháng và độ lệch chuẩn của NO₂ đối lưu được tính toán và sử dụng để vẽ đồ thị thể hiện sự biến thiên NO₂ đối lưu tại Việt Nam theo thời gian.

2.3. Phương pháp phân tích cụm phân cấp (hierachical cluster analysis)

Phương pháp phân tích cụm phân cấp (hierachical cluster analysis) được sử dụng để đánh giá mối liên hệ giữa các điều kiện kinh tế-xã hội và NO₂ đối lưu tại miền Bắc (bao gồm đồng bằng sông Hồng, Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ), miền Trung và Tây Nguyên (bao gồm Tây Nguyên và Nam Trung Bộ), và miền Nam (bao gồm Đông Nam Bộ và đồng bằng sông Cửu Long). Phần mềm Origin Pro 2020 (Origin, USA) được sử dụng để phân tích cụm phân cấp các biến NO₂ đối lưu và yếu tố kinh tế-xã hội, bao gồm mật độ dân số, số lượng dân số, thu nhập bình quân theo đầu người, và chỉ số sản xuất công nghiệp. Sự phân cụm các biến này được thực hiện dựa theo phương pháp “trung bình nhóm” (group average). Khoảng cách dùng để phân cụm được tính theo công thức sau [25]:

$$d = 1 - \text{corr}(x_j, x_k) \quad (1)$$

Trong đó d là khoảng cách giữa biến j và biến k . $\text{corr}(x_j, x_k)$ là tương quan Pearson giữa biến j và biến k [25].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn biến giá trị NO₂ đối lưu tại Việt Nam giai đoạn năm 2010-2020

Bảng 1 thể hiện giá trị NO₂ đối lưu trung bình toàn Việt Nam giai đoạn năm 2010-2020. Nhìn chung, trong giai đoạn này giá trị trung bình của NO₂ đối lưu không có sự dao động đáng kể qua các năm (giá trị nhỏ nhất - lớn nhất: $1,04-1,16 \times 10^{15}$ mol/cm²). Ngoài ra, tỷ số giữa trung bình NO₂ đối lưu theo từng năm và trung bình NO₂ đối lưu giai đoạn năm 2010-2020 (mean/mean₂₀₁₀₋₂₀₂₀) chủ yếu dao động xung quanh 1, chứng tỏ giá trị trung bình NO₂ đối lưu từ năm 2010 đến năm 2020 dao động không đáng kể so với giá trị trung bình trên toàn giai đoạn nghiên cứu. Vào năm 2020, giá trị NO₂ đối lưu trung bình toàn Việt Nam có sự giảm nhẹ so với năm 2019. Điều này có thể do ảnh hưởng của các đợt giãn cách xã hội trên cả nước trong đại dịch COVID-19, dẫn đến giảm các hoạt động giao thông vận tải và giảm lượng NO₂ phát thải từ loại nguồn thải này. Tổng lượng phát thải NO₂ và lượng NO₂ thải ra từ hoạt động giao thông vận tải vào năm 2020 tại Việt Nam cũng có sự suy giảm so với các năm trước đó (Hình 3a).

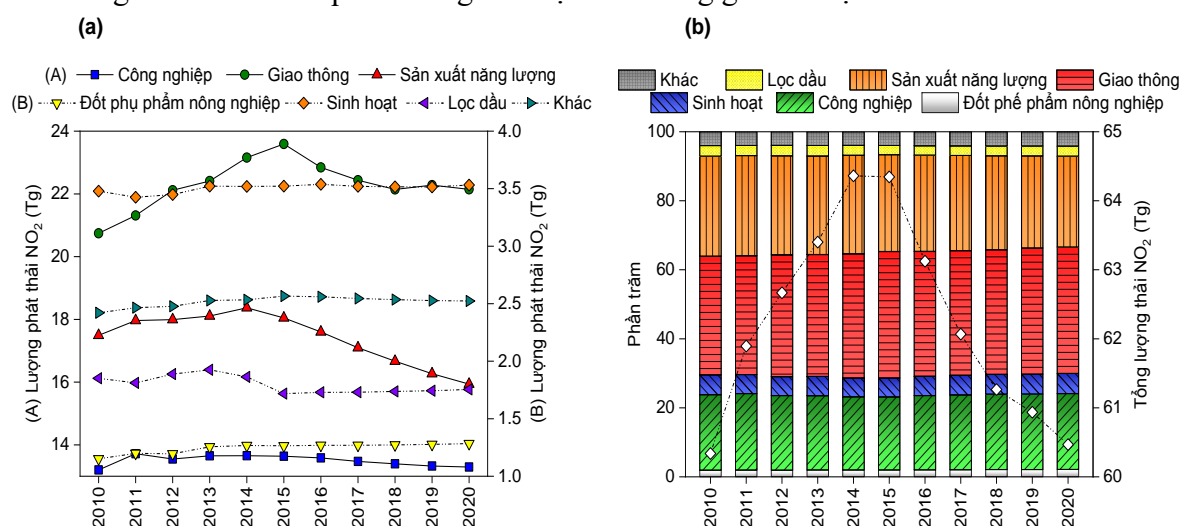
Bảng 1. Giá trị NO₂ đối lưu ($\times 10^{15}$) toàn Việt Nam từ năm 2010 đến năm 2020.

Năm	Mean	Mean/Mean2010-2020	SD	Min	Max
2010	1,12	1,03	0,49	0,74	2,51
2011	1,08	1,00	0,33	0,72	1,81
2012	1,04	0,96	0,50	0,66	2,29
2013	1,05	0,97	0,35	0,65	1,77
2014	1,08	1,00	0,39	0,69	1,93

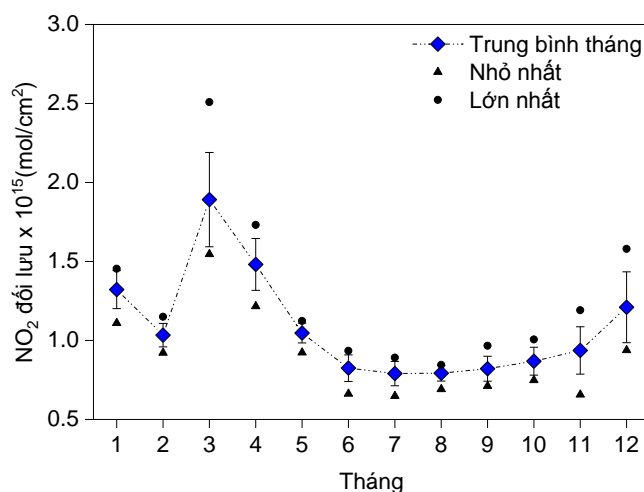
Năm	Mean	Mean/Mean2010–2020	SD	Min	Max
2015	1,06	0,98	0,26	0,84	1,58
2016	1,16	1,07	0,35	0,82	1,75
2017	1,07	0,99	0,28	0,73	1,55
2018	1,06	0,98	0,27	0,78	1,67
2019	1,13	1,04	0,36	0,79	1,99
2020	1,08	1,00	0,35	0,74	2,00

Đơn vị: mol/cm²; Mean: Trung bình; Mean_{2010–2020}: Trung bình năm 2010–2020; SD: Độ lệch chuẩn; Min: Giá trị nhỏ nhất; Max: Giá trị lớn nhất.

Theo dữ liệu phát thải NO₂ từ bộ dữ liệu phát thải khí ô nhiễm toàn cầu (*CAMS Global anthropogenic emissions*) [24], trong giai đoạn năm 2010–2020, NO₂ tại Việt Nam chủ yếu được thải ra từ các hoạt động giao thông vận tải, sản xuất năng lượng, và hoạt động công nghiệp (Hình 3). Mức đóng góp trung bình của các nguồn thải này vào tổng lượng NO₂ tại Việt Nam giai đoạn 2010–2020 lần lượt là 35%, 29% và 22% (Hình 3b). Lượng NO₂ phát thải từ hoạt động sản xuất năng lượng giảm dần từ năm 2015 (Hình 3a), tương ứng với sự suy giảm của tổng lượng phát thải NO₂ tại Việt Nam (Hình 3b). Tuy nhiên, giá trị trung bình của NO₂ đối lưu toàn Việt Nam không có sự dao động đáng kể (Bảng 1), nguyên nhân có thể do hoạt động sản xuất năng lượng ở nước ta tập trung chủ yếu tại một số khu vực, chẳng hạn như đồng bằng sông Hồng. Vì vậy, mặc dù lượng phát thải NO₂ giảm nhưng giá trị NO₂ đối lưu trung bình trên toàn quốc không thể hiện xu hướng giảm rõ rệt.



Hình 3. Lượng phát thải NO₂ tại Việt Nam phân loại theo nguồn thải từ năm 2010 đến năm 2020.

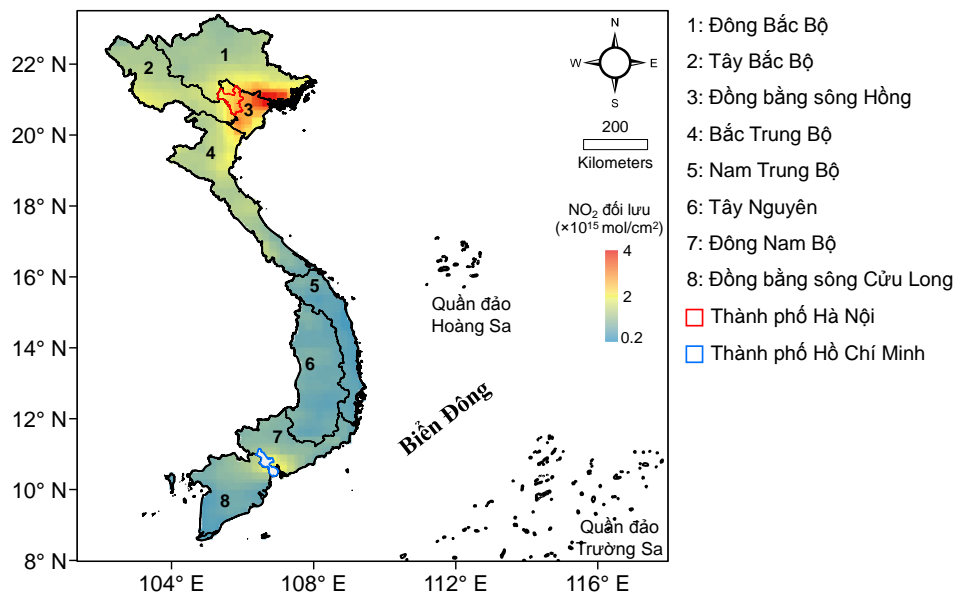


Hình 4. Giá trị trung bình tháng của NO₂ đối lưu giai đoạn 2010–2020.

Hình 4 cho thấy sự thay đổi theo tháng của NO_2 đối lưu tại Việt Nam. Nhìn chung, giá trị NO_2 đối lưu đạt mức cao nhất vào tháng 3 và tháng 4, sau đó có xu hướng giảm dần từ tháng 5 cho tới tháng 9 và cuối cùng tăng nhẹ từ tháng 10. Sự gia tăng NO_2 đối lưu vào tháng 3-4 có thể do ảnh hưởng của hoạt động đốt phụ phẩm nông nghiệp (ví dụ rơm rạ) sau thu hoạch vì hoạt động này tăng mạnh vào giai đoạn tháng 3-4, đặc biệt tại khu vực đồng bằng sông Hồng và các nước láng giềng như Lào, Myanmar, và Thái Lan [26]. Ngoài ra, NO_2 phát thải từ hoạt động đốt rơm rạ tại các nước này có thể được vận chuyển đến khu vực miền Bắc nước ta theo gió mùa đông bắc vào giai đoạn tháng 3-4 [26], góp phần làm gia tăng NO_2 đối lưu tại khu vực này. Vào các tháng 5-9, tần suất và lượng mưa tại các khu vực trên cả nước gia tăng. Vì vậy, sự suy giảm NO_2 đối lưu vào giai đoạn tháng 5-9 có thể do ảnh hưởng của mưa giúp rửa trôi các chất khí ô nhiễm. Bên cạnh đó, vào giai đoạn tháng 5-9, các hoạt động đốt phụ phẩm nông nghiệp giảm [27], dẫn đến giảm lượng phát thải NO_2 và giá trị NO_2 đối lưu.

3.2. Sự phân bố không gian của NO_2 đối lưu tại Việt Nam giai đoạn năm 2010-2020

Hình 5 và hình 6 thể hiện sự phân bố theo không gian địa lý của NO_2 đối lưu trung bình toàn Việt Nam giai đoạn năm năm 2010-2020. Dựa vào kết quả phân tích, có thể thấy đồng bằng sông Hồng có giá trị NO_2 đối lưu cao nhất cả nước. Các nguồn thải NO_2 chính tại khu vực này bao gồm hoạt động giao thông vận tải, hoạt động công nghiệp, và sản xuất năng lượng [28]. Lượng NO_2 được thải ra từ các nguồn này lần lượt chiếm khoảng 40%, 35%, và 20% tổng lượng phát thải NO_2 tại đồng bằng sông Hồng [28]. Ngoài ra, các nhà máy nhiệt điện đốt than ở nước ta tập trung chủ yếu ở các tỉnh Quảng Ninh, Hải Phòng và Hải Dương (thuộc đồng bằng sông Hồng) [29–30]. Nhiệt điện đốt than là nguồn cung cấp điện chủ yếu ở nước ta và đóng góp khoảng 50% tổng lượng sản xuất điện của cả nước [31]. Bên cạnh đó, quá trình đốt than được xem là một trong các nguồn thải NO_2 chủ yếu [32], vì thế sự vận hành của các nhà máy điện này có thể góp phần làm cho lượng NO_2 đối lưu tại đồng bằng sông Hồng lớn hơn khi so sánh với những khu vực còn lại của cả nước.

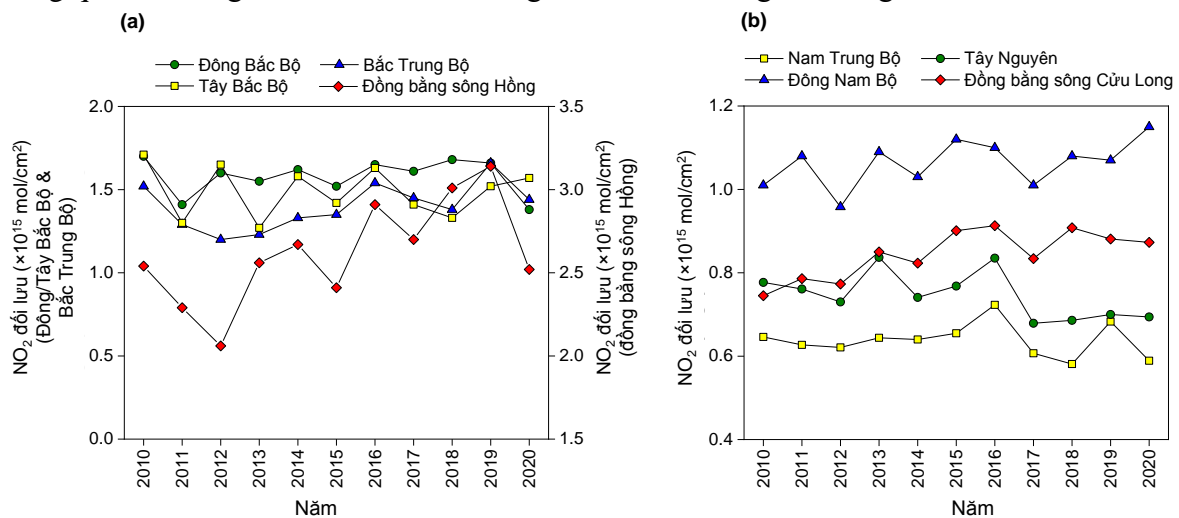


Hình 5. Giá trị trung bình NO_2 đối lưu giai đoạn 2010-2020 tại Việt Nam.

Giá trị NO_2 đối lưu tại các khu vực Đông Bắc Bộ, Tây Bắc Bộ, và Bắc Trung Bộ nhìn chung cũng khá cao. Nguồn thải NO_2 chính ở những khu vực này có thể bao gồm hoạt động giao thông vận tải, sinh hoạt (chẳng hạn như nấu nướng dùng nhiên liệu than và khí gas) và sản xuất công nghiệp [28]. Trong đó, khu sản xuất thép Thái Nguyên ở Đông Bắc Bộ cũng có thể góp phần làm tăng giá trị NO_2 đối lưu tại khu vực này vì quá trình sản xuất thép là một

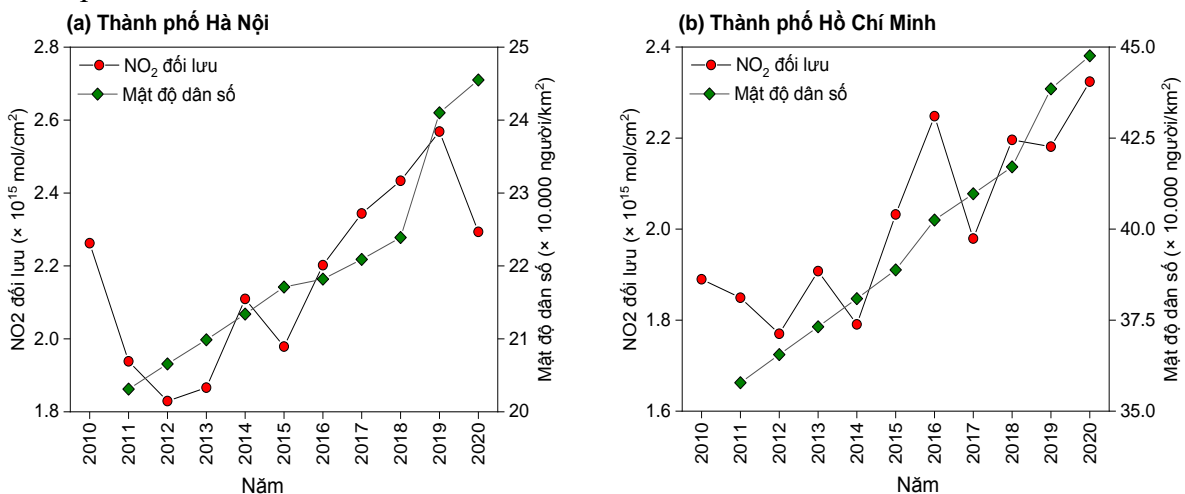
trong những nguồn phát thải NO_2 [33–34]. Ngoài ra, điều kiện khí hậu tại khu vực miền Bắc nước ta, chẳng hạn như nhiệt độ không khí, cũng có thể góp phần làm tăng giá trị NO_2 đối lưu tại khu vực này. Vào các tháng từ 12 đến tháng 4 của năm tiếp theo, nhiệt độ của không khí tại khu vực phía Bắc nhìn chung thấp hơn so với các khu vực phía Nam. Sự suy giảm nhiệt độ không khí có thể làm giảm độ cao của tầng xáo trộn khí quyển, từ đó hạn chế sự phân tán của NO_2 trong không khí và làm cho hàm lượng NO_2 trong tầng đối lưu gia tăng.

Hai khu vực có giá trị NO_2 đối lưu trung bình thấp nhất cả nước giai đoạn năm 2010–2020 là Tây Nguyên và Nam Trung Bộ (Hình 6). Hoạt động giao thông vận tải và sinh hoạt (chẳng hạn như đốt than và khí gas để nấu nướng) có thể là các nguồn thải NO_2 chính tại khu vực này. Khu vực Đông Nam Bộ và đồng bằng sông Cửu Long có giá trị NO_2 đối lưu trung bình cao hơn so với các khu vực còn lại của phía Nam (Hình 6b). Tuy nhiên, hình 5 cho thấy khu vực có NO_2 đối lưu cao chủ yếu tập trung tại thành phố Hồ Chí Minh và các khu vực xung quanh, chẳng hạn như các tỉnh Đồng Nai, Bình Dương, và Long An.



Hình 6. Giá trị trung bình năm NO_2 đối lưu tại các 8 vùng từ năm 2010 đến năm 2020.

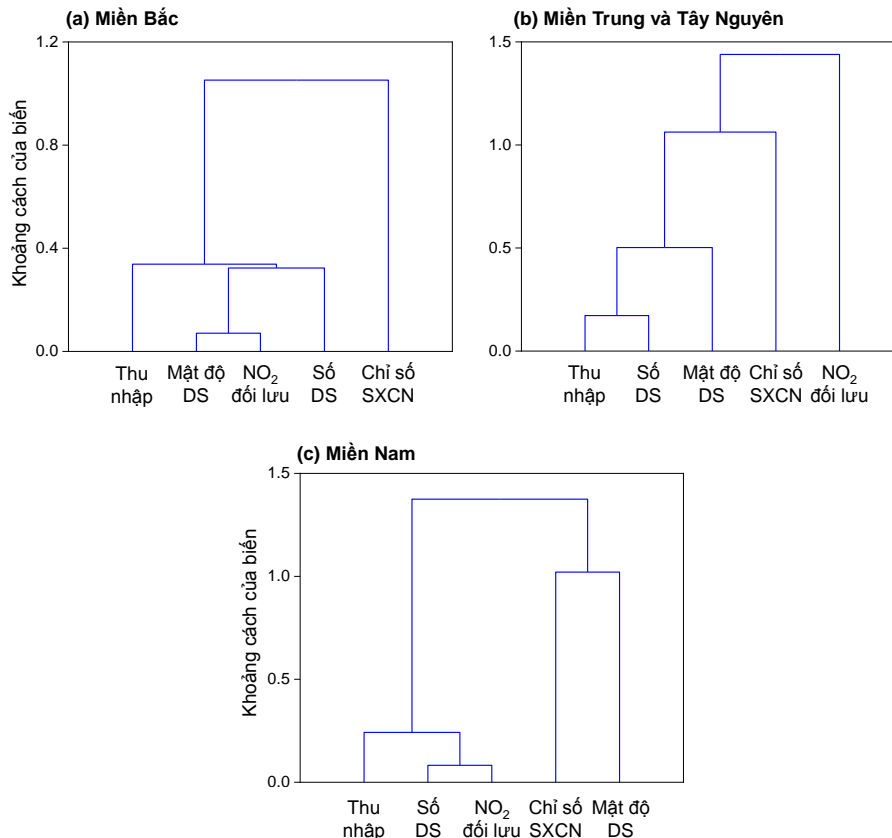
Hình 7 thể hiện diễn biến giá trị NO_2 đối lưu trung bình tại thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh từ năm 2010 đến năm 2020. Nhìn chung, NO_2 đối lưu tại hai thành phố này có xu hướng gia tăng từ năm 2010 đến năm 2020 và tỷ lệ thuận với mật độ dân số (thành phố Hà Nội: $R^2 = 0,79$, thành phố Hồ Chí Minh: $R^2 = 0,86$) (ngoại trừ vào năm 2020, mức độ NO_2 đối lưu giảm tại thành phố Hà Nội). Cả hai thành phố này đều có mật độ dân số và số lượng dân số cao nhất cả nước. Do đó, NO_2 từ những hoạt động giao thông vận tải và sinh hoạt được xem là một trong những nguồn thải NO_2 chủ yếu tại thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.



Hình 7. Giá trị NO_2 đối lưu trung bình năm 2010–2020 tại Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.

3.3. Mối liên hệ giữa các yếu tố kinh tế - xã hội và giá trị NO_2 đối lưu

Phương pháp phân tích cụm phân cấp (*hierachical cluster analysis*) được sử dụng để đánh giá mối liên hệ giữa NO_2 đối lưu và các yếu tố kinh tế-xã hội, bao gồm chỉ số sản xuất công nghiệp, thu nhập bình quân theo đầu người, mật độ dân số, và số lượng dân số. Kết quả phân tích cụm phân cấp được trình bày trong hình 8. Các khu vực có giá trị NO_2 đối lưu và điều kiện kinh tế - xã hội tương tự nhau được gộp chung để phân tích cụm, bao gồm miền Bắc (Đông Bắc Bộ, Tây Bắc Bộ, đồng bằng sông Hồng, và Bắc Trung Bộ), miền Trung và Tây Nguyên (Nam Trung Bộ và Tây Nguyên), và miền Nam (gồm Đông Nam Bộ và đồng bằng sông Cửu Long).



Hình 8. Kết quả phân tích cụm phân cấp của NO_2 đối lưu và các yếu tố kinh tế-xã hội tại miền Bắc, miền Trung và Tây Nguyên, và miền Nam. DS: Dân số; SXCN: Sản xuất công nghiệp.

Dựa theo kết quả phân tích cụm phân cấp, các biến có giá trị khoảng cách tương tự nhau thì được gộp chung cụm, thể hiện các biến này có mối liên hệ với nhau. Hình 8 cho thấy tại miền Bắc và miền Nam, NO_2 đối lưu có mối liên hệ với số lượng dân số, mật độ dân số, và thu nhập bình quân (Hình 8a, 8c). Kết quả này cũng cho thấy giá trị NO_2 đối lưu tại miền Bắc và Nam có thể chịu ảnh hưởng của sự đô thị hoá, đặc biệt tại hai thành phố lớn Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh. Sự gia tăng số lượng dân số là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự gia tăng mật độ phương tiện giao thông vận tải - một trong những nguồn thải chính của NO_2 tại Việt Nam. Vì vậy sự gia tăng số lượng và mật độ dân số góp phần làm tăng hàm lượng NO_2 đối lưu.

Ngoài ra, kết quả phân tích cụm tại khu vực miền Bắc và miền Nam cũng cho thấy tại hai vùng này, giá trị NO_2 đối lưu và thu nhập bình quân theo đầu người có mối liên hệ với nhau vì các biến này được gộp chung cụm (Hình 8a, 8c). Thu nhập bình quân theo đầu người tăng thể hiện sự phát triển kinh tế, tuy nhiên mối liên hệ giữa biến thu nhập và NO_2 đối lưu cho thấy sự phát triển của kinh tế có thể ảnh hưởng đến sự gia tăng lượng NO_2 đối lưu do NO_2 phát thải từ các hoạt động sản xuất và kinh doanh thương mại. Vì vậy, để góp phần phát

triển bền vững, các giải pháp như sản xuất sạch, tiêu dùng xanh, và kinh tế tuần hoàn là cần thiết nhằm giảm thiểu ô nhiễm không khí nhưng vẫn bảo đảm sự phát triển về kinh tế.

Đối với miền Trung và Tây Nguyên, kết quả phân tích cụm phân cấp cho thấy NO_2 đối lưu tại khu vực này có mối quan hệ mật thiết với chỉ số sản xuất công nghiệp. Đây là chỉ số thể hiện tốc độ tăng trưởng sản xuất của ngành công nghiệp và được tính toán theo tỷ lệ phần trăm giữa khối lượng sản xuất công nghiệp tạo ra trong kỳ hiện tại so với khối lượng sản xuất công nghiệp kỳ gốc. Theo kết quả phân tích, giá trị NO_2 đối lưu trung bình tại khu vực miền Trung và Tây Nguyên là thấp nhất so với những khu vực còn lại của cả nước (Hình 5 và Hình 6). Ngoài ra, số lượng dân số và mật độ dân số tại khu vực này cũng khá thấp so với miền Bắc (thấp hơn 0,45 lần) và miền Nam (thấp hơn 0,61 lần). Vì vậy, tại miền Trung và Tây Nguyên, phát thải NO_2 từ các hoạt động sản xuất công nghiệp có thể có tác động đến sự ô nhiễm không khí rõ nét hơn, dẫn đến NO_2 đối lưu tại khu vực này có mối liên hệ rõ ràng hơn với chỉ số sản xuất công nghiệp.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, giá trị NO_2 đối lưu truy xuất từ dữ liệu cảm biến OMI trên vệ tinh AURA được sử dụng để đánh giá diễn biến NO_2 đối lưu tại Việt Nam từ năm 2010 đến năm 2020. Ngoài ra, mối quan hệ giữa NO_2 đối lưu và các yếu tố kinh tế - xã hội, bao gồm thu nhập bình quân, mật độ dân số, số lượng dân số, và chỉ số sản xuất công nghiệp, cũng được đánh giá nhằm bước đầu tìm hiểu mối liên hệ của các yếu tố này đến giá trị NO_2 đối lưu. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị trung bình NO_2 đối lưu trên cả nước giai đoạn năm 2010-2020 dao động không đáng kể. NO_2 đối lưu trung bình có sự giảm nhẹ vào năm 2020 và điều này có thể do ảnh hưởng của các đợt giãn cách xã hội trên cả nước trong đại dịch COVID-19. Ngoài ra, giá trị trung bình của NO_2 đối lưu tại Việt Nam có xu hướng tăng vào mùa khô, đặc biệt là tháng 3 và tháng 4, và giảm vào mùa mưa, đặc biệt từ tháng 5 đến tháng 9.

Xét về sự phân bố theo không gian địa lý, nghiên cứu này cho thấy trong giai đoạn năm 2010-2020, đồng bằng sông Hồng là khu vực có giá trị NO_2 đối lưu trung bình cao nhất cả nước. Ngoài ra, Tây Nguyên và Nam Trung Bộ là hai khu vực có giá trị NO_2 đối lưu thấp nhất cả nước. Bên cạnh đó, NO_2 đối lưu tại các thành phố lớn như thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh có xu hướng tăng trong giai đoạn năm 2010-2020 và tỷ lệ thuận với mật độ dân số. Nghiên cứu này cũng cho thấy giá trị NO_2 đối lưu có mối liên hệ với mật độ dân số, số lượng dân số, và thu nhập bình quân theo đầu người, đặc biệt tại khu vực miền Bắc và miền Nam.

Kết quả của nghiên cứu này góp phần cung cấp thông tin về sự ô nhiễm NO_2 trên toàn Việt Nam và tại từng khu vực của cả nước. Các nghiên cứu tiếp theo có thể đánh giá mối liên hệ của các yếu tố tự nhiên, kinh tế-xã hội đến giá trị NO_2 đối lưu, chẳng hạn như điều kiện thời tiết, số lượng nhà máy trong khu vực, và mật độ giao thông. Ngoài ra, nghiên cứu này đánh giá diễn biến NO_2 đối lưu theo từng tháng và từng năm. Trong các nghiên cứu tiếp theo, sự thay đổi của NO_2 đối lưu theo từng ngày có thể được xem xét và đánh giá nhằm tìm hiểu chi tiết hơn diễn biến theo thời gian của giá trị NO_2 đối lưu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T.N., N.T.H.; Thu thập dữ liệu: T.P.T., N.H.G.H.; Xử lý số liệu: T.P.T., N.T.H., N.T.T.N.; Viết bản thảo bài báo: T.P.T., N.H.G.H., N.T.T.N.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.N.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào nguồn dữ liệu NO_2 đối lưu cung cấp bởi Trung tâm Dịch vụ Thông tin và Dữ liệu Khoa học Trái đất Goddard (GES DICS, NASA), dữ liệu phát thải NO_2 toàn cầu CAMS Global Anthropogenic Emissions, và dữ liệu về điều kiện kinh tế-xã hội tại các khu vực trên cả nước cung cấp bởi Tổng Cục Thống kê.

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. Carslaw, D.C. Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. *Atmos. Environ.* **2005**, 39, 4793–4802.
2. Krotkov, N.A.; McLinden, C.A.; Li, C.; Lamsal, L.N.; Celarier, E.A.; Marchenko, S.V.; Swartz, W.H.; Bucsela, E.J.; Joiner, J.; Duncan, B.N.; Boersma, K.F.; Veefkind, J.F.; Levelt, P.E.; Fioletov, V.E.; Dickerson, R.R.; He, H.; Lu, Z.; Streets, D.G. Aura OMI observations of regional SO₂ and NO₂ pollution changes from 2005 to 2015. *Atmos. Chem. Phys.* **2016**, 16, 4605–4629.
3. Al-Hemoud, A.; Gasana, J.; Alajeel, A.; Alhamoud, E.; Al-Shatti, A.; Al-Khayat, A. Ambient exposure of O₃ and NO₂ and associated health risk in Kuwait. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, 28, 14917–14926.
4. Stavrakou, T.; Müller, J.F.F.; Boersma, K.F.; De Smedt, I.; van der A, R.J. Assessing the distribution and growth rates of NO_x emission sources by inverting a 10-year record of NO₂ satellite columns. *Geo. Res. Letters.* **2008**, 35, L10801.
5. NASA. OMNO2 Readme Document. Data Product Version 4.0. 2019.
6. Li, R.; Mei, X.; Chen, L.; Wang, L.; Wang, Z.; Jing, Y. Long-Term (2005–2017) view of atmospheric pollutants in central China using multiple satellite observations. *Remote Sens.* **2020**, 12, 1041.
7. Wang, C.; Wang, T.; Wang, P.; Rakitin, V. Comparison and validation of TROPOMI and OMI NO₂ observations over China. *Atmosphere* **2020**, 11, 636.
8. Van der A, R.J.; Peters, D.H.M.U.; Eskes, H.; Boersma, K.F.; Van Roozendael, M.; De Smedt, I.; Kelder, H.M. Detection of the trend and seasonal variation in tropospheric NO₂ over China. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2006**, 111(D12), D12317.
9. Liu, X.; Yi, G.; Zhou, X.; Zhang, T.; Lan, Y.; Yu, D.; Wen, B.; Hu, J. Atmospheric NO₂ distribution characteristics and influencing factors in Yangtze river economic belt: Analysis of the NO₂ product of TROPOMI/Sentinel-5P. *Atmosphere* **2021**, 12, 1142.
10. Curier, R.L.; Kranenburg, R.; Segers, A.J.S.; Timmermans, R.M.A.; Schaap, M. Synergistic use of OMI NO₂ tropospheric columns and LOTOS–EUROS to evaluate the NO_x emission trends across Europe. *Remote Sens. Environ.* **2014**, 149, 58–69.
11. Chan, K.L.; Wiegner, M.; van Geffen, J.; De Smedt, I.; Alberti, C.; Cheng, Z.; Ye, S.; Wenig, M. MAX-DOAS measurements of tropospheric NO₂ and HCHO in Munich and the comparison to OMI and TROPOMI satellite observations. *Atmos. Meas. Tech.* **2020**, 13, 4499–4520.
12. Wang, U.; Wang, J. Tropospheric SO₂ and NO₂ in 2012–2018: Contrasting views of two sensors (OMI and OMPS) from space. *Atmos. Environ.* **2020**, 223, 117214.
13. Van Geffen, J.; Boersma, K.F.; Eskes, H.; Snee, M.; ter Linden, M.; Zara, M.; Veefkind, J.P. S5P TROPOMI NO₂ slant column retrieval: method, stability, uncertainties and comparisons with OMI. *Atmos. Meas. Tech.* **2020**, 13, 1315–1335.
14. Bauwens, M.; Compennolle, S.; Stavrakou, T.; Müller, J.F.; van Gent, J.; Eskes, H.; Levelt, P.E.; R.van der A, J. P. Veefkind, Vlietinck, J.; Yu, H.; Zehner, C. Impact of Coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geo. Res. Letters.* **2020**, 47, e2020GL087978.
15. Cai, X.; Yan, Li, S.; Kong, S.; Liu, M.; Zhang, Z. Trend reversal from source region to remote tropospheric NO₂ columns. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, 29(11), 15763–15776. Doi: 10.1007/s11356-021-16857-0.
16. Choo, G.H.; Seo, J.; Yoon, J.; Kim, D.R.; Lee, D.W. Analysis of long-term (2005–2018) trends in tropospheric NO₂ percentiles over Northeast Asia. *Atmos. Pollut. Res.* **2020**, 11, 1429–1440.
17. Lee, C.S.; Chang, K.H.; Kim, H. Long-term (2005–2015) trends analysis of OMI retrieved NO₂ columns in Taiwan. *Atmos. Pollut. Res.* **2019**, 10, 960–970.

18. Zhang, L.; Lee, C.S.; Zhang, R.; Chen, L. Spatial and temporal evaluation of long term trend (2005–2014) of OMI retrieved NO₂ and SO₂ concentrations in Henan Province, China. *Atmos. Environ.* **2017**, *154*, 151–166.
19. He, Q.; Qin, K.; Cohen, J.B.; Loyola, D.; Li, D.; Shi, J.; Xue, Y. Spatially and temporally coherent reconstruction of tropospheric NO₂ over China combining OMI and GOME-2B measurements. *Environ. Res. Lett.* **2020**, *15*, 125011.
20. Goldberg, D.L.; Lu, Z.; Oda, T.; Lamsal, L.N.; Liu, F.; Griffin, D.; McLinden, C.A.; Krotkov, N.A.; Duncan, B.N.; Streets, D.G. Exploiting OMI NO₂ satellite observations to infer fossil-fuel CO₂ emissions from U.S. megacities. *Sci. Total Environ.* **2019**, *695*, 133805.
21. Ân, Đ.D.; Linh, L.V.; Hùng, Đ.D.; Thông, M.T. Đánh giá tổng cột tầng đối lưu NO₂ và O₃ từ mô hình CMAQ và vệ tinh AURA/OMI. *Tạp chí Môi trường* **2016**, *7*, 27–32.
22. Phuong, D.T.K.; Nhut, M.C.; Tri, N.D. Air Pollution Assessment Using RS and Gis in Ho Chi Minh City, Viet Nam: A Case Study of Period 2015-2019 for SO₂ and NO₂. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, *652*, 012004.
23. Nguyen, H.T.; Nguyen, T.N.T. Temporal variation of tropospheric NO₂ columns in Vietnam during 2015-2020. *J. Tech. Educ. Sci.* **2021**, *67*, 87–92.
24. CAMs. The Copernicus Atmosphere Monitoring Service global and regional emissions (April 2019 version). 2019.
25. OriginLab. Origin User Guide. 2020.
26. Ngoc, B.A.P.; Delbarre, H.; Deboudt, K.; Dieudonné, E.; Tran, D.N.; Thanh, S.L.; Pelon, J.; Ravetta, F. Key factors explaining severe air pollution episodes in Hanoi during 2019 winter season. *Atmos. Pollut. Res.* **2021**, *12*, 101068.
27. Ngo, T.X.; Do, N.T.N.; Phan, H.D.T.; Tran, V.T.; Mac, T.T.M.; Le, A.H.; Do, N.V.; Bui, H.Q.; Nguyen, T.T.N. Air pollution in Vietnam during the COVID-19 social isolation, evidence of reduction in human activities. *Int. J. Remote Sens.* **2021**, *42*, 6126–6152.
28. VAST-IIASA. Future air quality in Ha Noi and northern Vietnam. 2018.
29. VEA. National Environment Report 2016-2020. 2021.
30. Phuoc, N.H.; Ongsakul, W.; Manjiparambil, N.M.; Sasidharan, N. A slack-bus-independent loss sensitivity approach for optimal day-ahead generation scheduling. *Electr. Eng.* **2022**, *104*, 421–434.
31. EVN. Annual Report. 2021.
32. Alnaim, A.; Sun, Z.; Tong, D. Evaluating machine learning and remote sensing in monitoring NO₂ emission of power plants. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 729.
33. Li, X.; Sun, W.; Zhao, L.; Cai, J. Material metabolism and environmental emissions of BF-BOF and EAF steel production routes. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.* **2018**, *39*, 50–58.
34. Musah, B.I.; Peng, L.; Xu, Y. Evaluation of chromium application in the steel Industry in China: Implications on environmental quality. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, *728*, 012011.

Evaluation of tropospheric nitrogen dioxide (NO₂) over Vietnam in the period of 2010 and 2020

Nguyen Thi Tuyen Nam^{1*}, Tran Phuoc Tan¹, Nguyen Hoang Gia Huy¹, Nguyen Thi Hoa¹

¹ Faculty of Environment, Saigon University; ntnam@sgu.edu.vn;
drawt2003@gmail.com; giahuy61103@gmail.com; nthoa@sgu.edu.vn

Abstract: Tropospheric nitrogen dioxide (NO₂) indicates the total number of NO₂ molecules per unit area in a column of atmosphere from the ground surface to the tropospheric layer. In this study, tropospheric NO₂ data retrieved from the OMI sensor onboard the AURA satellite was used to investigate the spatial and temporal variation of tropospheric NO₂ in Vietnam from 2010 to 2020. Additionally, relationships between the tropospheric NO₂ and several socio-economic parameters, including average income, population density, number of populations, and index of industrial production, were evaluated using hierarchical cluster analysis to understand the effect of these parameters on the tropospheric NO₂ in Vietnam. The results revealed that the average tropospheric NO₂ over Vietnam experienced a moderate fluctuation between 2010 and 2020. In addition, the dry season (i.e., March and April) and rainy season (i.e., May to October) tended to have the highest and lowest values of tropospheric NO₂, respectively. Regarding the spatial variation, the highest and lowest tropospheric NO₂ values were observed in the Red River Delta and the South-Central Coast of Vietnam, respectively. Based on the hierarchical cluster analysis, tropospheric NO₂ in the northern and southern areas showed relationships with population density, number of populations, and average income. This study thus provides information about tropospheric NO₂ in Vietnam over a long-term period and supports decision-making related to reducing NO₂ pollution.

Keywords: NO₂; Tropospheric NO₂; Satellite; OMI/AURA; Vietnam.