

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Xuân Hoàng

**Sử dụng dữ liệu vệ tinh để đánh giá các chất ô nhiễm cơ bản trong
không khí do ảnh hưởng của giãn cách xã hội giai đoạn từ năm 2019 đến
năm 2021 ở Việt Nam**

LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH CÔNG NGHỆ MÔI TRƯỜNG

Hà Nội, 2024

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Xuân Hoàng

Chuyên ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 8520320

LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH CÔNG NGHỆ MÔI TRƯỜNG

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- 1. TS. Vương Thu Bắc**
- 2. TS. Phan Quang Thăng**

Hà Nội, 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan những số liệu, kết quả nghiên cứu trong luận văn đều đảm bảo tính trung thực, chính xác, khoa học. Kết quả nghiên cứu dưới sự hướng dẫn khoa học của TS. Vương Thu Bắc và TS. Phan Quang Thăng.

Hà Nội, ngày tháng năm 2024

HỌC VIÊN

Phạm Xuân Hoàng

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận văn thạc sĩ với tên đề tài: **“Sử dụng dữ liệu vệ tinh để đánh giá các chất ô nhiễm cơ bản trong không khí do ảnh hưởng của giãn cách xã hội giai đoạn từ năm 2019 đến năm 2021 ở Việt Nam”**. Em xin chân thành cảm ơn TS. Vương Thu Bắc và TS. Phan Quang Thăng đã hướng dẫn và chỉ bảo tận tình trong quá trình tôi thực hiện và hoàn thành luận văn này.

Tôi xin cảm ơn Học viện Khoa học và Công nghệ, cảm ơn Thầy cô những người đã tạo cho tôi nền tảng lý thuyết, phương pháp tiếp cận vấn đề để tôi có thể hoàn thành luận văn.

Hà Nội, ngày tháng năm 2024

Học viên

Phạm Xuân Hoàng

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	3
DANH MỤC HÌNH	4
MỞ ĐẦU	5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	7
<i>1.1. Các chất ô nhiễm cơ bản trong không khí.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2. Tổng quan về chất lượng không khí.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3. CO và ô nhiễm CO</i>	<i>10</i>
<i>1.4. O₃ và ô nhiễm O₃.....</i>	<i>11</i>
<i>1.5. NO₂ và ô nhiễm NO₂</i>	<i>13</i>
<i>1.6. SO₂ và ô nhiễm SO₂.....</i>	<i>14</i>
<i>1.7. PM_{2.5} và ô nhiễm PM_{2.5}.....</i>	<i>15</i>
<i>1.8. Tổng quan về dữ liệu vệ tinh</i>	<i>16</i>
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ THU THẬP DỮ LIỆU	24
<i>2.1. Thu thập dữ liệu.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2. Phương pháp nghiên cứu</i>	<i>24</i>
<i>2.3. Dữ liệu MERRA2</i>	<i>34</i>
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	37
<i>3.1. Nồng độ SO₂.....</i>	<i>37</i>
<i>3.2. Nồng độ CO</i>	<i>44</i>
<i>3.3. Nồng độ NO₂.....</i>	<i>49</i>
<i>3.4. Bụi mịn PM_{2.5}</i>	<i>55</i>
<i>3.5. Mối liên hệ giữa các chất ô nhiễm trong không khí</i>	<i>60</i>
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	65
TÀI LIỆU THAM KHẢO	66

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Nghĩa viết tắt
CO	Carbon monoxide
NO ₂	Nitrogen dioxide
O ₂	Khí Oxy
SO ₂	Sulfur dioxide
PM ₁₀	Bụi mịn kích thước < 10µm
PM _{2.5}	Bụi mịn kích thước < 2,5µm
TSP	Total Suspended Particulate, bụi tổng số
AQI	Air Quality Index, chỉ số chất lượng môi trường không khí
O ₃	Ozone
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
WHO	World Health Organization
GIS	Geographical information system
CSDL	Cơ sở dữ liệu
MERRA	Modern-Era Retrospective Analysis

DANH MỤC HÌNH

Hình 1. Nhận diện R-program của R Development Core Team, 2011

Hình 2. Giao diện khi sử dụng phần mềm Rstudio

Hình 3. Gói "openair" của Rstudio

Hình 4. Bộ phần mềm ứng dụng ArcGIS (Nguồn: ESRI)

Hình 5. Nồng độ bề mặt SO_2 theo mùa năm 2019

Hình 6. Nồng độ bề mặt SO_2 theo mùa năm 2010

Hình 7. Nồng độ bề mặt SO_2 theo mùa năm 2021

Hình 8. Bản đồ các khu công nghiệp phía Bắc

Hình 9. Nồng độ SO_2 theo tháng 2019 ở khu vực đồng bằng sông Hồng

Hình 10. Nồng độ SO_2 theo tháng 2019 ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long

Hình 11. Nồng độ CO theo các mùa năm 2019

Hình 11. Nồng độ CO theo các mùa năm 2020

Hình 12. Nồng độ CO theo các mùa năm 2021

Hình 13. Nồng độ CO theo tháng 2019 ở khu vực đồng bằng sông Hồng

Hình 14: Nồng độ CO theo tháng 2019 ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long

Hình 15: Nồng độ cột NO_2 trung bình 2019

Hình 16: Nồng độ cột NO_2 trung bình 2020

Hình 17: Nồng độ cột NO_2 trung bình 2021

Hình 18: Nồng độ cột NO_2 theo tháng trong 2019 ở khu vực đồng bằng sông Hồng (trên) và đồng bằng sông Cửu Long (dưới)

Hình 19. Nồng độ bề mặt $\text{PM}_{2.5}$ trung bình 2019

Hình 20. Nồng độ bề mặt $\text{PM}_{2.5}$ trung bình 2020

Hình 21. Nồng độ bề mặt $\text{PM}_{2.5}$ trung bình 2021

Hình 22. Nồng độ bề mặt $\text{PM}_{2.5}$ theo tháng tại khu vực đồng bằng sông Hồng

Hình 23. Nồng độ bề mặt $\text{PM}_{2.5}$ theo tháng tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long

MỞ ĐẦU

Việt Nam là quốc gia đang phát triển nhanh trong khu vực, đang phải đối mặt với những thách thức trong việc quản lý chất lượng không khí. Trong quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa và phát triển kinh tế, các thành phố lớn của Việt Nam phải chịu những áp lực nặng nề từ dân số đông đúc, tình trạng quá tải về nhà ở và giao thông, cùng với các vấn đề môi trường khác. Mặc dù sự phát triển kinh tế đã góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống, nhưng nó cũng đi kèm với một số mặt trái, đó là ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm không khí.

Ô nhiễm không khí ở Việt Nam chủ yếu liên quan đến bụi trong đó có các kích thước hạt bụi khác nhau như TSP, PM₁₀ và bụi mịn PM_{2.5}, khí thải từ giao thông, công nghiệp và sinh hoạt. Các chất ô nhiễm này có thể gây ra nhiều bệnh lý nghiêm trọng, ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng, đặc biệt là đối với nhóm người dễ bị tổn thương như trẻ em, người già và những người mắc bệnh lý nền. Chính vì vậy, việc kiểm soát và giảm thiểu ô nhiễm không khí đã trở thành một vấn đề cấp bách và cần thiết.

Để đánh giá mức độ ô nhiễm không khí, phương pháp lấy mẫu quan trắc tại hiện trường được sử dụng, tuy nhiên phương pháp này có chi phí cao và phạm vi nghiên cứu hạn chế. Ngoài ra, các trạm quan trắc môi trường không khí trực tuyến cũng được triển khai, nhưng số lượng trạm hoạt động tốt và đáng tin cậy còn hạn chế do chi phí duy trì và vận hành cao. Trong bối cảnh này, việc sử dụng dữ liệu vệ tinh, đặc biệt là MERRA-2 (Global Modeling and Assimilation Office's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2) có thể giải quyết được một số nhược điểm mà quan trắc trực tiếp không thực hiện được. Dữ liệu vệ tinh giúp theo dõi ô nhiễm không khí trên diện rộng và liên tục, các nhà khoa học và quản lý sẽ đánh giá tình trạng ô nhiễm không khí trong không gian và thời gian rộng hơn, từ đó đưa ra được giải pháp về công nghệ và quản lý phù hợp để giảm thiểu mức độ ô nhiễm.

Giai đoạn 2015-2019, ô nhiễm môi trường không khí tiếp tục là vấn đề nóng tại Việt Nam. Đặc biệt, tại các thành phố lớn và các khu vực công nghiệp, mức độ ô nhiễm bụi, đặc biệt là PM₁₀ và PM_{2.5}, luôn ở mức cao. Mặc dù các thông số ô nhiễm khác như NO₂, O₃, CO₂, SO₂ cơ bản vẫn nằm trong ngưỡng cho phép của quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN 05:2023/BTNMT), nhưng ô nhiễm bụi vẫn là một vấn đề nổi bật. Mức độ ô nhiễm bụi tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh có xu hướng tăng từ năm 2017 đến 2019, với

đỉnh điểm vào năm 2019. Tuy nhiên, vào năm 2020, ô nhiễm không khí có sự giảm nhẹ, nguyên nhân có thể do ảnh hưởng của đại dịch COVID-19, giãn cách xã hội và các hoạt động sản xuất công nghiệp và sinh hoạt của con người có xu hướng giảm.

Trong giai đoạn 2019-2022, sự bùng phát của đại dịch COVID-19 đã có tác động rõ rệt đến chất lượng không khí. Các hoạt động sản xuất công nghiệp, giao thông và xây dựng giảm sút đáng kể do giãn cách xã hội và phong tỏa. Sự tạm ngừng hoặc giảm thiểu các hoạt động này đã giúp giảm ô nhiễm không khí tại các đô thị lớn. Điều này đã tạo ra cơ hội nghiên cứu và đánh giá tác động của các biện pháp giãn cách xã hội đến sự phân bố các chất ô nhiễm không khí.

Mục tiêu của nghiên cứu

Với bối cảnh trên, đề tài "**Sử dụng dữ liệu vệ tinh để đánh giá các chất ô nhiễm cơ bản trong không khí do ảnh hưởng của giãn cách xã hội giai đoạn từ năm 2019 đến 2021 ở Việt Nam**" được triển khai với các mục tiêu sau:

1. ***Lập bản đồ phân bố các chất ô nhiễm***: Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu vệ tinh để xây dựng bản đồ phân bố các chất ô nhiễm cơ bản như CO, NO₂, O₃, SO₂ và PM_{2.5} tại Việt Nam trong thời gian giãn cách xã hội do COVID-19.
2. ***So sánh sự biến đổi theo thời gian và không gian***: Đánh giá sự thay đổi trong phân bố các chất ô nhiễm trong thời gian và giữa các khu vực khác nhau của Việt Nam, từ đó nhận diện các khu vực có mức độ ô nhiễm cao hoặc giảm mạnh.
3. ***Ảnh hưởng của giãn cách xã hội***: Phân tích tác động của giãn cách xã hội và các biện pháp phòng chống dịch bệnh đối với sự phân bố và xu hướng biến động của các chất ô nhiễm trong không khí.

Nghiên cứu này không chỉ cung cấp một cái nhìn tổng quan về chất lượng không khí ở Việt Nam trong giai đoạn COVID-19 mà còn đánh giá được sự ảnh hưởng của các biện pháp giãn cách xã hội đối với sự thay đổi của ô nhiễm không khí. Từ đó, giúp đưa ra những khuyến nghị và giải pháp cho việc cải thiện chất lượng không khí trong tương lai, đặc biệt trong bối cảnh quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa và phát triển nhanh chóng của đất nước.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

I.1. Các chất ô nhiễm cơ bản trong không khí

Ô nhiễm không khí đang trở thành một trong những vấn đề nghiêm trọng và dai dẳng nhất của thế kỷ 21, mang đến những mối đe dọa trực tiếp và rõ rệt đối với sức khỏe con người, hệ sinh thái tự nhiên, cũng như nền kinh tế toàn cầu. Không chỉ là một hiện tượng môi trường, ô nhiễm không khí đã và đang tác động sâu rộng tới nhiều lĩnh vực trong xã hội, tạo ra những thách thức khó khăn mà chúng ta buộc phải đối mặt. Tại Việt Nam, vấn đề này đang trở thành một trong những thách thức môi trường nghiêm trọng nhất trong bối cảnh phát triển nhanh chóng của nền kinh tế, đô thị hóa mạnh mẽ và gia tăng dân số, dẫn đến tình trạng suy giảm chất lượng không khí ở nhiều khu vực. Tình trạng ô nhiễm này không chỉ làm gia tăng các bệnh tật, mà còn ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững của xã hội và nền kinh tế, kéo theo những hậu quả tiêu cực đến cuộc sống hàng ngày của người dân.

Ô nhiễm không khí có thể định nghĩa là sự hiện diện của các chất ô nhiễm trong không khí với nồng độ đủ cao để gây hại cho sức khỏe con người, động vật, thực vật, hoặc làm tổn hại các vật liệu. Các chất ô nhiễm này có thể xuất phát từ các nguồn tự nhiên như bụi từ sa mạc, cháy rừng hay phun trào núi lửa, hoặc có thể là do hoạt động của con người tạo ra, bao gồm các chất thải từ các phương tiện giao thông, nhà máy, và các hoạt động công nghiệp. Các chất gây ô nhiễm chính trong không khí bao gồm các hạt vật chất (PM), các khí độc hại như ozone (O_3), nitrogen dioxide (NO_2), sulfur dioxide (SO_2), và carbon monoxide (CO), tất cả đều có thể gây ra những ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người và môi trường [1].

Việc nghiên cứu và giải quyết vấn đề ô nhiễm không khí tại Việt Nam là điều cực kỳ quan trọng và cấp bách, không chỉ vì tác động trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng mà còn vì những ảnh hưởng sâu rộng đến kinh tế và môi trường. Cụ thể, những lý do sau đây chứng minh sự cần thiết phải có những biện pháp hiệu quả để giải quyết vấn đề này:

+ **Sức khỏe cộng đồng:** Ô nhiễm không khí là một trong những nguyên nhân chính gây ra hàng loạt các bệnh lý nghiêm trọng, đặc biệt là các bệnh về đường hô hấp như viêm phế quản, hen suyễn, và bệnh phổi tắc nghẽn mãn tính. Những người mắc bệnh tim mạch cũng phải chịu ảnh hưởng tiêu cực từ các chất ô nhiễm trong không khí, khiến

tỷ lệ tử vong và bệnh tật ngày càng gia tăng. Các nghiên cứu cho thấy rằng, ô nhiễm không khí là một yếu tố nguy cơ lớn gây tử vong sớm ở nhiều quốc gia, bao gồm cả Việt Nam.

+ **Tác động kinh tế:** Ô nhiễm không khí không chỉ ảnh hưởng đến sức khỏe con người mà còn có những tác động lớn đến nền kinh tế quốc gia. Các chi phí y tế do điều trị các bệnh liên quan đến ô nhiễm không khí ngày càng gia tăng, đồng thời năng suất lao động cũng bị suy giảm đáng kể vì sức khỏe của người lao động bị ảnh hưởng. Những chi phí này tạo ra gánh nặng cho ngân sách quốc gia và làm giảm khả năng phát triển kinh tế bền vững.

+ **Môi trường:** Ô nhiễm không khí còn có ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái và đa dạng sinh học, góp phần vào việc phá hủy các môi trường sống tự nhiên của động thực vật. Chất lượng không khí kém cũng làm giảm hiệu quả của các hệ thống nông nghiệp, đồng thời thúc đẩy biến đổi khí hậu do các khí nhà kính như CO₂ và methane thải ra từ quá trình ô nhiễm không khí. Điều này không chỉ làm thay đổi hệ sinh thái mà còn làm tăng cường hiện tượng thời tiết cực đoan, đe dọa đến cuộc sống của con người và các loài sinh vật.

+ **Phát triển bền vững:** Một yếu tố quan trọng trong chiến lược phát triển bền vững của Việt Nam chính là giải quyết vấn đề ô nhiễm không khí. Một môi trường sống lành mạnh là nền tảng để bảo vệ sức khỏe cộng đồng và thúc đẩy nền kinh tế phát triển lâu dài. Việc giảm thiểu ô nhiễm không khí sẽ giúp nâng cao chất lượng cuộc sống của người dân và đảm bảo sự phát triển bền vững cho các thế hệ tương lai.

Trong bối cảnh hiện nay, với những thách thức lớn và không thể xem nhẹ, việc triển khai các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm không khí tại Việt Nam cần phải được thực hiện một cách đồng bộ và khẩn cấp. Điều này không chỉ đòi hỏi sự vào cuộc của các cơ quan nhà nước mà còn cần có sự tham gia tích cực của cộng đồng và các doanh nghiệp trong việc bảo vệ và duy trì chất lượng không khí cho một tương lai xanh, sạch và khỏe mạnh.

I.2. Tổng quan về chất lượng không khí

Theo báo cáo mới nhất của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) và các nghiên cứu độc lập khác, chất lượng không khí tại nhiều thành phố lớn ở Việt Nam đang ở mức báo động đỏ, với tình trạng ô nhiễm không khí đang ngày càng nghiêm trọng. Đặc biệt, Hà

Nội và Thành phố Hồ Chí Minh thường xuyên xuất hiện trong danh sách các thành phố có mức độ ô nhiễm không khí cao nhất trên thế giới. Tình trạng ô nhiễm không khí không chỉ ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe của người dân mà còn tác động tiêu cực đến chất lượng môi trường sống, gây ra những vấn đề khó giải quyết về lâu dài.

Trong đó, khu vực đô thị, đặc biệt là các thành phố lớn như Hà Nội, TP.HCM, và Đà Nẵng, là những nơi chịu ảnh hưởng nặng nề nhất từ ô nhiễm không khí. Với mật độ dân số cao, phương tiện giao thông đông đúc và sự phát triển nhanh chóng của các khu công nghiệp, ô nhiễm không khí ở các thành phố này thường xuyên vượt mức an toàn, đe dọa trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng. Bên cạnh đó, khu vực nông thôn, mặc dù không bị ảnh hưởng nặng nề như các đô thị lớn, nhưng tình trạng ô nhiễm vẫn tồn tại do các hoạt động như đốt rơm rạ hay sử dụng thuốc bảo vệ thực vật, gây ra khí thải và bụi mịn có hại cho sức khỏe con người. Các khu vực nông thôn gần các thành phố lớn cũng chịu tác động của ô nhiễm không khí từ các nguồn thải khác như khí thải từ các phương tiện giao thông hay nhà máy.

Một yếu tố đáng chú ý là khu vực công nghiệp, khu vực xung quanh các nhà máy, khu công nghiệp, hoặc các khu sản xuất tập trung thường xuyên ghi nhận mức độ ô nhiễm không khí cao hơn. Các nhà máy và khu công nghiệp xả ra các chất ô nhiễm độc hại, bao gồm khí thải từ việc sản xuất công nghiệp, làm tăng thêm mức độ ô nhiễm trong khu vực này.

Ô nhiễm không khí hiện nay chủ yếu do 06 chất ô nhiễm chính gây ra, bao gồm: CO (carbon monoxide), NO₂ (nitơ dioxide), SO₂ (lưu huỳnh dioxide), O₃ (ozon), PM_{2.5} (bụi mịn có đường kính nhỏ hơn 2.5 micromet) và PM₁₀ (bụi mịn có đường kính nhỏ hơn 10 micromet). Các chất này có thể xuất hiện với tỷ lệ khác nhau, tùy thuộc vào nguồn thải và tính chất của quá trình phát thải. Ví dụ, khí thải từ các phương tiện giao thông thường có tỷ lệ NO_x và SO_x cao, trong khi khí thải từ các đám cháy rừng lại chứa nhiều CO và PM_{2.5}. Mỗi chất ô nhiễm này đều có tác động riêng biệt và khác biệt đến môi trường sống, cũng như sức khỏe của con người.

Đây là những chất ô nhiễm đại diện cho các hoạt động phát thải từ hoạt động của con người như công nghiệp, giao thông, do tự nhiên như cháy rừng, núi lửa, thậm chí là các ô nhiễm thứ cấp như O₃. Các chất này được nghiên cứu và báo cáo từ rất sớm, các trạm quan trắc online tự động giám sát chất lượng môi trường không khí cũng yêu cầu

tối thiểu 6 thông số này. Các vệ tinh giám sát môi trường của các nước cũng ưu tiên giám sát các thông số cơ bản này. QCVN quy định về chất lượng môi trường không khí xung quanh và hướng dẫn tính toán chỉ số AQI chỉ số chất lượng môi trường không khí do Bộ Tài nguyên và môi trường ban hành cũng dựa trên các chỉ tiêu cơ bản này. Thông thường, tỉ lệ các chất cơ bản này được gắn liền với các loại hình thức xả thải khác nhau, và sẽ thay đổi tùy theo tính chất nguồn thải [2].

Tác động của ô nhiễm không khí không chỉ gây ra những vấn đề về bệnh hô hấp, tim mạch mà còn liên quan đến sự gia tăng các bệnh lý nguy hiểm khác như ung thư phổi, viêm phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD) và thậm chí là các vấn đề về thần kinh, làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng cuộc sống của người dân.

I.3. CO và ô nhiễm CO

Carbon monoxide (CO) là một chất ô nhiễm không khí cực kỳ nguy hiểm, không màu và không mùi, được sinh ra chủ yếu từ quá trình đốt cháy không hoàn toàn các nhiên liệu hóa thạch như xăng, dầu, và than gỗ. Mặc dù CO không thể nhìn thấy hoặc ngửi thấy được, nhưng nó lại có tác động cực kỳ nghiêm trọng đến sức khỏe con người. Ở Việt Nam, nồng độ CO trong không khí tại các khu vực đô thị đã có những cải thiện đáng kể trong những năm gần đây, tuy nhiên vẫn còn là một vấn đề đáng lo ngại tại một số địa phương, đặc biệt là những nơi có mức độ phát thải lớn.

Tại Hà Nội, trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, nồng độ CO trung bình năm dao động trong khoảng từ 1 đến 2 mg/m³, thấp hơn so với quy chuẩn quốc gia QCVN 05:2013/BTNMT (10 mg/m³). Mức độ ô nhiễm CO ở Thành phố Hồ Chí Minh cũng ghi nhận tình trạng tương tự. Tuy nhiên, các thành phố có nền công nghiệp phát triển mạnh mẽ như Hải Phòng và Đà Nẵng lại có xu hướng có nồng độ CO cao hơn một chút. Mặc dù vậy, nồng độ CO ở các thành phố lớn đã có xu hướng giảm dần trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, với tốc độ giảm trung bình khoảng 2-3% mỗi năm. Điều này cho thấy nỗ lực cải thiện chất lượng không khí đang dần có hiệu quả, nhưng vẫn cần có những biện pháp mạnh mẽ hơn để duy trì và thúc đẩy xu hướng tích cực này.

Ô nhiễm CO thường có xu hướng tăng cao vào mùa đông và giảm xuống vào mùa hè, do các yếu tố như thời tiết lạnh ảnh hưởng đến các hoạt động sinh hoạt và giao thông. Trong suốt cả ngày, nồng độ CO thường có hai đỉnh rõ rệt, một vào sáng sớm và

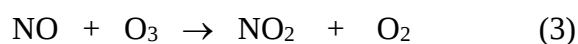
một vào chiều tối, trùng với giờ cao điểm giao thông, khi các phương tiện di chuyển nhiều nhất. Điều này cho thấy rằng lượng xe cộ, đặc biệt là xe máy và ô tô, đóng vai trò chủ yếu trong việc gia tăng nồng độ CO trong không khí.

Nguồn phát thải chính của CO bao gồm khí thải từ các phương tiện giao thông, đặc biệt là xe máy và ô tô, các hoạt động công nghiệp, cũng như việc đốt nhiên liệu trong các hộ gia đình, đặc biệt là vào mùa đông khi nhu cầu sưởi ấm và đốt than tăng cao. Việc giảm thiểu ô nhiễm CO đòi hỏi sự cải tiến trong công nghệ xe cộ, hạn chế việc đốt nhiên liệu lãng phí và áp dụng các biện pháp quản lý môi trường chặt chẽ hơn trong các khu vực công nghiệp.

Tác động của ô nhiễm CO đối với sức khỏe cộng đồng rất nghiêm trọng. Khi vào cơ thể, CO sẽ làm giảm khả năng vận chuyển oxy trong máu, dẫn đến các triệu chứng như đau đầu, chóng mặt, mệt mỏi, và khó thở. Trong trường hợp nghiêm trọng, việc tiếp xúc với nồng độ CO cao có thể gây ngộ độc và dẫn đến tử vong. Do đó, việc theo dõi và giảm thiểu mức độ CO trong không khí là điều cực kỳ quan trọng để bảo vệ sức khỏe cộng đồng và cải thiện chất lượng sống của người dân, đặc biệt là ở những khu vực đông dân cư và có mật độ giao thông cao.

I.4. O₃ và ô nhiễm O₃

Ozone ở tầng thấp gần bề mặt trái đất là một chất ô nhiễm thứ cấp, được hình thành từ các phản ứng hóa học giữa các chất ô nhiễm gốc như oxit nitơ (NO_x) và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs) dưới tác động của ánh sáng mặt trời, phản ứng tạo ra O₃ thứ cấp từ NO_x và VOC được thể hiện qua các phản ứng (1-3) [3]. Mặc dù ozone rất cần thiết trong tầng bình lưu để bảo vệ Trái Đất khỏi tác hại của tia UV, nhưng khi nó xuất hiện ở bề mặt trái đất, nó lại trở thành một chất ô nhiễm nguy hiểm, gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng đối với sức khỏe con người và môi trường. Tại Việt Nam, ô nhiễm O₃ đang ngày càng trở thành mối quan tâm lớn, đặc biệt tại các khu đô thị lớn, nơi mức độ phát thải từ các phương tiện giao thông và hoạt động công nghiệp rất cao.



Trong đó: $h\nu$ là tia UV từ ánh sáng mặt trời, M là các hạt vật chất làm chất mang cho phản ứng xảy ra ví dụ như bụi và các sol khí.

Tại Hà Nội, trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, nồng độ O_3 trung bình 8 giờ thường xuyên vượt quá quy chuẩn quốc gia QCVN 05:2013/BTNMT ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$), đặc biệt là vào mùa hè. Điều này gây ra những cảnh báo về sự gia tăng ô nhiễm không khí tại thành phố này, khi các điều kiện khí hậu và lượng xe cộ di chuyển dày đặc tạo ra một môi trường lý tưởng cho sự hình thành O_3 . Thành phố Hồ Chí Minh cũng ghi nhận tình trạng tương tự, với nhiều ngày có nồng độ O_3 vượt ngưỡng cho phép. Ngoài các thành phố lớn, các khu vực ven biển như Đà Nẵng, Nha Trang cũng đang đối mặt với vấn đề ô nhiễm O_3 , bởi điều kiện khí hậu tại đây, với nhiệt độ cao và cường độ ánh sáng mặt trời mạnh, tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành O_3 .

Đặc biệt, nồng độ O_3 có xu hướng tăng nhẹ trong giai đoạn 2016-2020, với tốc độ tăng trung bình khoảng 1-2% mỗi năm tại các đô thị lớn. Ô nhiễm O_3 thường đạt đỉnh vào mùa hè, đặc biệt từ tháng 5 đến tháng 8, khi nhiệt độ cao và cường độ ánh sáng mặt trời mạnh mẽ, tạo ra những điều kiện thuận lợi cho quá trình hình thành O_3 trong không khí. Trong ngày, nồng độ O_3 thường cao nhất vào buổi trưa và chiều sớm, khi ánh sáng mặt trời mạnh nhất và các chất ô nhiễm gốc từ phương tiện giao thông và hoạt động công nghiệp vẫn còn tồn tại trong không khí.

Nguồn gốc chính của sự hình thành O_3 bao gồm khí thải từ các phương tiện giao thông, đặc biệt là xe máy và ô tô, cùng với hoạt động công nghiệp. Các chất ô nhiễm này, khi kết hợp với ánh sáng mặt trời, tạo ra phản ứng hóa học làm tăng mức O_3 trong không khí. Vì vậy, việc kiểm soát các nguồn phát thải này là điều cần thiết để giảm thiểu ô nhiễm O_3 và bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

Tác động của ô nhiễm O_3 đối với sức khỏe con người là rất nghiêm trọng. O_3 có thể gây kích ứng các đường hô hấp, làm giảm chức năng phổi và trầm trọng thêm các bệnh lý hô hấp như hen suyễn và viêm phế quản. Ngoài ra, ô nhiễm O_3 còn có thể làm tăng nguy cơ tử vong sớm do các bệnh tim mạch và các bệnh lý hô hấp khác. Đặc biệt, nhóm đối tượng dễ bị ảnh hưởng nhất là trẻ em, người già và những người có bệnh lý tim mạch hoặc hô hấp mãn tính. Vì vậy, việc giảm thiểu ô nhiễm O_3 trong không khí là rất quan trọng để bảo vệ sức khỏe cộng đồng và cải thiện chất lượng sống.

I.5. NO₂ và ô nhiễm NO₂

Nitrogen dioxide (NO₂) là một chất ô nhiễm không khí quan trọng, chủ yếu phát sinh từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch như xăng, dầu và than đá. Mặc dù tại Việt Nam, nồng độ NO₂ tại các khu vực đô thị lớn thường nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn quốc gia, nhưng chất ô nhiễm này vẫn là một vấn đề đáng lo ngại do tác động tiêu cực của nó đến sức khỏe con người và môi trường sống. Tại các thành phố lớn như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh, nồng độ NO₂ vẫn có xu hướng dao động ở mức khá cao, đặc biệt là trong các khu vực có mật độ giao thông lớn.

Tại Hà Nội, trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, nồng độ NO₂ trung bình năm dao động từ 30 đến 40 µg/m³, một mức có thể được coi là trong giới hạn cho phép của quy chuẩn quốc gia. Tuy nhiên, Thành phố Hồ Chí Minh lại ghi nhận mức độ NO₂ cao hơn, và trong một số trường hợp, nồng độ này đã vượt quá mức quy chuẩn, đặc biệt là tại các điểm giao thông đông đúc, nơi mật độ phương tiện di chuyển rất cao. Sự khác biệt về mức độ ô nhiễm NO₂ giữa hai thành phố này có thể giải thích bằng mật độ giao thông và hoạt động công nghiệp lớn hơn tại Thành phố Hồ Chí Minh, dẫn đến sự phát sinh NO₂ nhiều hơn so với Hà Nội.

Trong những năm gần đây, xu hướng ô nhiễm NO₂ tại các đô thị lớn có vẻ tăng nhẹ, điều này chủ yếu là do sự gia tăng không ngừng của phương tiện giao thông. Ô nhiễm NO₂ thường có xu hướng cao nhất vào các giờ cao điểm giao thông, điều này phản ánh rõ mối quan hệ chặt chẽ giữa mức độ ô nhiễm NO₂ và hoạt động giao thông đô thị. Mỗi ngày, vào buổi sáng và chiều tối, khi lưu lượng phương tiện đông đúc, nồng độ NO₂ trong không khí sẽ tăng mạnh, gây ảnh hưởng không nhỏ đến chất lượng không khí và sức khỏe người dân.

Nguồn phát thải chính của NO₂ bao gồm khí thải từ giao thông đô thị, đặc biệt là các phương tiện di chuyển sử dụng nhiên liệu hóa thạch, hoạt động công nghiệp và sản xuất điện, cũng như việc đốt nhiên liệu hóa thạch trong các hộ gia đình. Mặc dù một phần lượng NO₂ trong không khí đến từ các nguồn công nghiệp và điện năng, nhưng giao thông vẫn là nguồn chính tạo ra mức độ NO₂ cao trong không khí, đặc biệt tại các khu vực thành thị đông đúc.

Tác động của ô nhiễm NO_2 đến sức khỏe con người là rất nghiêm trọng. NO_2 có thể gây kích ứng các đường hô hấp, làm tăng nguy cơ mắc các bệnh lý hô hấp như viêm phế quản, hen suyễn, và viêm phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD). Ngoài ra, khi NO_2 kết hợp với các chất ô nhiễm khác trong không khí dưới tác động của ánh sáng mặt trời, nó còn góp phần vào sự hình thành ozone bề mặt (O_3), làm gia tăng tình trạng ô nhiễm không khí. Một tác động nguy hiểm khác của NO_2 là khả năng hình thành mưa axit, gây hại cho môi trường và hệ sinh thái, làm suy giảm chất lượng đất đai, nguồn nước, và ảnh hưởng đến đời sống động thực vật. Vì vậy, việc kiểm soát và giảm thiểu ô nhiễm NO_2 là rất quan trọng để bảo vệ sức khỏe cộng đồng và bảo vệ môi trường tự nhiên.

I.6. SO_2 và ô nhiễm SO_2

Sulfur dioxide (SO_2) là một chất ô nhiễm không khí có mùi hắc đặc trưng, chủ yếu được tạo ra từ quá trình đốt các nhiên liệu hóa thạch chứa lưu huỳnh, như than đá và dầu. Mặc dù nồng độ SO_2 trong không khí tại Việt Nam đã có sự cải thiện đáng kể nhờ các biện pháp kiểm soát ô nhiễm, nhưng vấn đề ô nhiễm SO_2 vẫn là một mối quan tâm ở một số khu vực, đặc biệt là ở các vùng công nghiệp.

Tại Hà Nội, trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, nồng độ SO_2 trung bình năm dao động từ 10 đến 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, thấp hơn nhiều so với quy chuẩn quốc gia QCVN 05:2013/BTNMT (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Thành phố Hồ Chí Minh cũng ghi nhận mức độ ô nhiễm SO_2 tương tự, cho thấy chất lượng không khí ở các khu vực này đã được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, một số khu vực công nghiệp như Quảng Ninh, Thái Nguyên lại có xu hướng có nồng độ SO_2 cao hơn do sự phát sinh nhiều khí thải từ các hoạt động công nghiệp, đặc biệt là các nhà máy nhiệt điện than.

Đáng chú ý, trong giai đoạn 2016-2020, nồng độ SO_2 có xu hướng giảm dần, với tốc độ giảm trung bình khoảng 3-5% mỗi năm tại các đô thị lớn, nhờ vào các biện pháp kiểm soát ô nhiễm và việc áp dụng công nghệ sạch hơn trong sản xuất công nghiệp. Tuy nhiên, ô nhiễm SO_2 thường có mức độ cao nhất vào mùa đông, khi nhu cầu sử dụng nhiên liệu để sưởi ấm tăng cao. Ngược lại, vào mùa hè, nồng độ SO_2 thường giảm. Trong một ngày, nồng độ SO_2 thường cao nhất vào sáng sớm và chiều tối, thời điểm lượng phương tiện giao thông di chuyển nhiều nhất và khí thải từ các phương tiện sử dụng nhiên liệu diesel cũng tăng lên.

Các nguồn phát thải chính của SO₂ bao gồm các nhà máy nhiệt điện than, hoạt động công nghiệp, và khí thải từ phương tiện giao thông sử dụng nhiên liệu diesel. Việc giảm thiểu ô nhiễm SO₂ đòi hỏi sự cải tiến trong công nghệ sản xuất năng lượng và giao thông, đồng thời tăng cường các biện pháp kiểm soát và quản lý ô nhiễm tại các khu vực công nghiệp.

Tác động của ô nhiễm SO₂ đối với sức khỏe cộng đồng chủ yếu liên quan đến các vấn đề hô hấp. SO₂ có thể gây kích ứng đường hô hấp, làm tổn thương phổi và làm trầm trọng thêm các tình trạng bệnh lý như hen suyễn, viêm phế quản mãn tính, và các bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD). Ngoài ra, SO₂ còn góp phần vào sự hình thành mưa axit, gây hại cho đất đai, nguồn nước và hệ sinh thái, ảnh hưởng đến chất lượng môi trường sống. Do đó, việc kiểm soát ô nhiễm SO₂ là rất quan trọng không chỉ để bảo vệ sức khỏe cộng đồng mà còn để bảo vệ môi trường và sự phát triển bền vững.

I.7. PM_{2.5} và ô nhiễm PM_{2.5}

Bụi mịn PM_{2.5}, là một trong những chất ô nhiễm không khí gây ra nhiều lo ngại nhất tại Việt Nam. PM_{2.5} là các hạt bụi có đường kính nhỏ hơn 2.5 micromet, có khả năng xâm nhập sâu vào phổi và hệ tuần hoàn, gây ra nhiều tác động nghiêm trọng đối với sức khỏe con người. Do kích thước nhỏ bé, các hạt bụi này có thể đi vào sâu trong phổi, gây viêm nhiễm và tổn thương phổi, cũng như làm tăng nguy cơ mắc các bệnh lý tim mạch, ung thư phổi và nhiều bệnh mãn tính khác.

Tại Hà Nội, trong giai đoạn từ 2016 đến 2020, nồng độ PM_{2.5} trung bình năm là khoảng 42.8 µg/m³, cao gần gấp đôi so với quy chuẩn quốc gia QCVN 05:2013/BTNMT (25 µg/m³). Điều này cho thấy chất lượng không khí tại thủ đô vẫn còn rất đáng báo động. Thành phố Hồ Chí Minh cũng ghi nhận mức độ ô nhiễm PM_{2.5} đáng kể, với nồng độ trung bình năm dao động từ 20 đến 30 µg/m³ trong cùng giai đoạn. Các tỉnh công nghiệp như Bắc Ninh, Hưng Yên, Hải Dương cũng có mức độ ô nhiễm PM_{2.5} cao tương tự, chủ yếu do các hoạt động công nghiệp phát thải bụi mịn.

Mặc dù nồng độ PM_{2.5} có xu hướng giảm nhẹ trong giai đoạn 2016-2020, với tốc độ giảm trung bình khoảng 3.8% mỗi năm tại Hà Nội, nhưng mức giảm này vẫn chưa đủ để đưa chất lượng không khí về mức an toàn theo khuyến nghị của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO). Ô nhiễm PM_{2.5} thường cao nhất vào mùa đông, từ tháng 11 đến tháng 2,

khi nhiệt độ thấp và việc sử dụng nhiên liệu để sưởi ấm gia tăng, khiến lượng bụi mịn trong không khí càng tăng cao. Ngược lại, nồng độ $PM_{2.5}$ thấp hơn vào mùa hè, khi thời tiết ấm và có mưa, giúp làm sạch không khí. Trong một ngày, nồng độ $PM_{2.5}$ thường có hai đỉnh rõ rệt: vào sáng sớm và tối muộn, khi các phương tiện giao thông hoạt động dày đặc, gây ra mức độ ô nhiễm bụi mịn cao nhất.

Nguồn phát thải chính của bụi mịn bao gồm giao thông đô thị, hoạt động công nghiệp, xây dựng, đốt sinh khối (như đốt rơm rạ, than đun nấu) và bụi từ các công trường xây dựng. Trong đó, giao thông đô thị là một trong những nguồn phát thải chủ yếu, đặc biệt ở các thành phố lớn như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh, nơi có mật độ phương tiện di chuyển cao. Bụi mịn từ các hoạt động công nghiệp và xây dựng cũng đóng góp đáng kể vào mức độ ô nhiễm không khí tại các khu công nghiệp.

Tác động của ô nhiễm bụi mịn đối với sức khỏe cộng đồng là rất nghiêm trọng. Theo ước tính, khoảng 60.000 ca tử vong sớm mỗi năm ở Việt Nam liên quan đến ô nhiễm không khí, trong đó $PM_{2.5}$ là nguyên nhân chính. Những tác hại sức khỏe này chủ yếu liên quan đến các bệnh lý hô hấp, tim mạch và ung thư phổi. Các nhóm người dễ bị tổn thương nhất bao gồm trẻ em, người cao tuổi và những người có bệnh lý nền về tim mạch hoặc hô hấp. Bụi mịn cũng có thể làm tăng nguy cơ đột quỵ, bệnh tim mạch, và các vấn đề về hô hấp mãn tính. Vì vậy, việc giảm thiểu ô nhiễm $PM_{2.5}$ là một thách thức lớn đối với Việt Nam, đòi hỏi sự nỗ lực từ chính phủ, cộng đồng và các ngành công nghiệp để cải thiện chất lượng không khí và bảo vệ sức khỏe của người dân.

I.8. Tổng quan về dữ liệu vệ tinh

Trong 2 thập kỷ qua, phân tích sử dụng dữ liệu vệ tinh đã trở thành một công cụ rất mạnh mẽ trong khoa học Trái đất hiện đại, vì chúng kết hợp cả thông tin dựa trên mô hình và quan sát để cung cấp dữ liệu nhất quán về mặt vật lý từ trái đất, đại dương và khí quyển với phạm vi không gian và thời gian liên tục. Trong lĩnh vực thành phần khí quyển, các sản phẩm phân tích lại khác nhau có sẵn ở quy mô toàn cầu, bao gồm phân tích dữ liệu của Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMSRA), Trung tâm Dự báo thời tiết tầm trung châu Âu (ECMWF) và Phân tích hồi cứu thời gian thực cho nghiên cứu và ứng dụng v2 (MERRA-2), Văn phòng mô hình hóa và đồng hóa toàn cầu (GMAO) của Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia (NASA) thực hiện. Các ứng

dụng này đều đồng hóa nhiều quan sát cảm biến từ xa trên không gian (chủ yếu là các cột tổng và tầng đối lưu) thu được từ một đội vệ tinh ngày càng phát triển đo các khí ô nhiễm và thông số môi trường cơ bản. Việc đồng hóa dữ liệu rộng rãi như vậy của các quan sát vệ tinh là rất quan trọng để giảm các sai lệch liên quan đến các lực phát thải sai và/hoặc các biểu diễn quá thô về các quá trình vật lý và hóa học xảy ra trong khí quyển. Việc đồng hóa dữ liệu giúp hạn chế tốt hơn sự thay đổi theo không gian và thời gian cũng như xu hướng dài hạn của các hợp chất hóa học quan trọng nhất, cung cấp cái nhìn nhất quán về mặt vật lý về thành phần khí quyển của Trái Đất [4].

Xem xét mối quan tâm lớn của việc phân tích lại thành phần khí quyển trong nhiều ứng dụng khác nhau (ví dụ như nghiên cứu khí hậu, điều kiện ban đầu và/hoặc điều kiện biên cho các hệ thống mô hình hóa quy mô khu vực, đánh giá tác động của ô nhiễm không khí và nghiên cứu sức khỏe), điều quan trọng là phải mô tả các điểm mạnh và hạn chế của các sản phẩm toàn cầu này, đặc biệt là ở bề mặt, vì không có quan sát hóa học tại chỗ nào được đồng hóa. Đã có nhiều nghiên cứu gần đây được công bố sử dụng dữ liệu vệ tinh để đánh giá và nghiên cứu về nồng độ các chất ô nhiễm trên nhiều khu vực trên thế giới, các nghiên cứu điển hình được chỉ ra trong Bảng 1.1 dưới đây.

Bảng 1.1 Các nghiên cứu gần đây về ô nhiễm môi trường không khí sử dụng dữ liệu vệ tinh toàn cầu

TT	Chất ô nhiễm	Khu vực nghiên cứu	Thời gian nghiên cứu	Dữ liệu vệ tinh	Tác giả	TLTK
1	CO, NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , PM ₁₀	South Korea	2003-2018	CAMSRA, MERRA-2, TCR-2	Ryu and Min (2021)	[5]
2	NO ₂ , O ₃ , CO, HCHO	Global	2003-2018	CAMSRA	Wagner et al. (2021)	[6]
3	PM ₁₀	China	2011-2013, 2016-2017	MERRA-2	Ma et al. (2021)	[7]
4	PM _{2.5}	India	2015-2018	MERRA-2	Navinya et al. (2020)	[8]
5	PM _{2.5} , PM ₁₀	Europe	2003-2014	MERRA-1	Provencal et al. (2017a)	[9]

TT	Chất ô nhiễm	Khu vực nghiên cứu	Thời gian nghiên cứu	Dữ liệu vệ tinh	Tác giả	TLTK
6	PM _{2.5}	Israel, Taiwan	2002-2015	MERRA-1	Provengal et al. (2017b)	[10]
7	PM _{2.5}	USA	2003-2012	MERRA-1	Buchard et al. (2016)	[11]
8	O ₃	Global	2003-2015	CAMSRA, TCR	Huijnen et al. (2020)	[12]
9	SO ₂	Middle East	2015-2016	CAMSRA, MERRA-2	Ukhov et al. (2020)	[13]
10	PM ₁₀ , PM ₂₅	China	2014-2020	CAMSRA, MERRA-2	Ali et al. (2022)	[14]

Số lượng vệ tinh được các nước đưa lên ngày càng nhiều, quan sát đa dạng về thành phần và nồng độ các chất ô nhiễm kể từ những năm 2000, đã có nhiều nỗ lực để sử dụng thành phần khí quyển quan sát được từ vệ tinh trong các hệ thống mô hình hóa hóa học khí quyển thông qua quá trình đồng hóa dữ liệu. Dữ liệu đồng hóa cung cấp một phương pháp luận khách quan để kết hợp các quan sát và ước tính mô hình, để cung cấp ước tính về trạng thái có nhiều khả năng xảy ra nhất của một hệ thống (Lahoz và Schneider, 2014) [15]. Do đó, đồng hóa dữ liệu của các chất ô nhiễm trong khí quyển có thể cung cấp các điều kiện ban đầu tốt hơn cho các dự báo thành phần khí quyển. Bên cạnh mục đích dự báo, các dữ liệu này trong khí quyển được đồng hóa bởi một phiên bản duy nhất của hệ thống đồng hóa mô hình và dữ liệu trong một thời gian dài có thể cung cấp trạng thái nhất quán về mặt vật lý của thành phần khí quyển. Do đó, cái gọi là "phân tích lại - reanalysis" thành phần khí quyển có thể được sử dụng để hiểu các nguyên nhân cơ bản của các xu hướng quan sát được và các biến động theo mùa/theo năm và cũng có thể được sử dụng làm các điều kiện ban đầu và ranh giới cho mô hình chất lượng không khí khu vực. Đã có một số nghiên cứu đánh giá các sản phẩm phân tích lại thành phần khí quyển. Ví dụ, Buchard và cộng sự (2016) đã đánh giá phân tích lại khí dung Phân tích hồi cứu hiện đại để nghiên cứu và ứng dụng (MERRA) so với PM_{2.5} bề mặt trên khắp Hoa Kỳ. Miyazaki và cộng sự (2019) đã đánh giá hiệu suất Phân tích lại hóa học tầng đối lưu phiên bản 2 (TCR-2) bằng cách sử dụng dữ liệu chiến dịch thực địa Chất lượng không khí KOREa-US (KORUS-AQ) [16]. Huijnen và cộng sự (2020) đã so

sánh hiệu suất phân tích lại đối với ôzôn tầng đối lưu từ Dịch vụ giám sát khí quyển Copernicus (CAMS), CAMS tạm thời, TCR-1 và TCR-2 [12]. Gueymard và Yang (2020) đã so sánh độ dày lớp quang hóa (AOD) từ CAMS và MERRA-2 bằng cách sử dụng các quan sát AERONET trong 15 năm trên toàn thế giới. Wang và cộng sự (2020) đã đánh giá quá trình phân tích lại khí vết CAMS bằng cách sử dụng nhiều quan sát chiến dịch bằng máy bay trên toàn thế giới trong giai đoạn 2003–2016 [17]. Wang và cộng sự (2020) đã báo cáo rằng CAMS tái tạo tốt các loài đã đồng hóa so với các loài quan sát trên không (ví dụ: O_3 và CO) [18].

Vì những lý do nêu trên, việc theo dõi tình trạng các chất ô nhiễm không khí tại chỗ là hết sức quan trọng. Hiện nay, tại Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu khảo sát nồng độ và xác định nguồn phát thải chính của các chất ô nhiễm không khí cơ bản, tập trung chủ yếu ở các thành phố lớn có mức phát thải cao như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh [19]. Các nghiên cứu này chủ yếu dựa vào việc thu thập dữ liệu từ các trạm khảo sát chất ô nhiễm cố định, được lắp đặt tại một số khu vực trong các thành phố, với mục đích giám sát chất lượng không khí tại các địa điểm cụ thể.

Tại Việt Nam, mạng lưới các trạm đo chỉ số ô nhiễm không khí đã được thiết lập tại các khu dân cư trong thành phố và các khu vực gần các khu công nghiệp nhằm theo dõi tình trạng ô nhiễm không khí. Mặc dù việc xây dựng và phát triển mạng lưới các trạm đo này là một bước đi quan trọng, nhưng chi phí để thiết lập và duy trì một hệ thống như vậy trên toàn quốc là rất lớn, chưa kể đến chi phí bảo trì và việc đảm bảo sự đồng bộ giữa các trạm. Đây chính là một trong những thách thức lớn mà các cơ quan chức năng và nghiên cứu phải đối mặt khi muốn mở rộng việc giám sát ô nhiễm không khí.

Tuy nhiên, với sự phát triển của công nghệ, hiện nay việc đo lường nồng độ các chất ô nhiễm không khí từ xa, thậm chí là xác định nguồn ô nhiễm, đã trở nên khả thi thông qua việc sử dụng các vệ tinh. Các vệ tinh không chỉ cung cấp dữ liệu với độ chính xác tương đối, mà độ chính xác của chúng đang ngày càng được cải thiện. Việc sử dụng vệ tinh để giám sát ô nhiễm không khí đã và đang được thử nghiệm tại nhiều quốc gia trên thế giới. Phương pháp này giúp giảm thiểu chi phí cho việc thiết lập và duy trì các trạm đo cố định, đồng thời có thể phục vụ cho các mục đích khác như cảnh báo thiên tai, sự kiện không mong muốn hay theo dõi các biến động môi trường ở phạm vi rộng.

Dữ liệu đo vệ tinh về ô nhiễm không khí hiện nay được lưu trữ trên các máy chủ trực tuyến và có thể dễ dàng truy cập và tải về miễn phí. Điều này tạo cơ hội cho các nhà nghiên cứu, cơ quan quản lý và cộng đồng tiếp cận thông tin về chất lượng không khí một cách nhanh chóng và hiệu quả hơn, từ đó có thể đưa ra các biện pháp ứng phó kịp thời với tình trạng ô nhiễm không khí.

Mặc dù đã có những nghiên cứu xu hướng và diễn biến thời gian dài trên một số chất ô nhiễm bằng kết hợp các số liệu vệ tinh. Tuy nhiên từ 5 chất ô nhiễm cơ bản như CO, SO₂, NO₂, O₃ và bụi mịn trong thời gian dài còn nhiều hạn chế đặc biệt là ở Việt Nam.

Tổng quan về phần mềm R

Phân tích số liệu và biểu đồ hiện nay chủ yếu được thực hiện thông qua các phần mềm chuyên dụng như SAS, SPSS, Stata, Statistica và S-Plus. Đây là những phần mềm nổi tiếng, đã được các công ty phần mềm lớn phát triển và giới thiệu ra thị trường trong khoảng ba thập kỷ qua. Chúng không chỉ được sử dụng rộng rãi trong các trường đại học, các trung tâm nghiên cứu, mà còn là công cụ chủ yếu trong các công ty kỹ thuật và các tổ chức nghiên cứu khoa học trên toàn cầu. Nhờ vào các tính năng mạnh mẽ và khả năng xử lý số liệu phức tạp, những phần mềm này đã trở thành tiêu chuẩn trong lĩnh vực phân tích thống kê và nghiên cứu khoa học.

Tuy nhiên, một trong những yếu tố hạn chế khiến việc sử dụng các phần mềm này trở nên khó khăn đối với nhiều tổ chức, đặc biệt là ở các quốc gia đang phát triển, chính là chi phí bản quyền khá cao. Giá thành của một số phần mềm này có thể lên đến hàng trăm ngàn đô-la Mỹ mỗi năm, khiến nhiều trường đại học và tổ chức nghiên cứu không đủ khả năng tài chính để duy trì sử dụng lâu dài. Điều này dẫn đến một thực trạng là mặc dù các phần mềm này rất mạnh mẽ và hữu ích, nhưng không phải ai cũng có thể tiếp cận được chúng, đặc biệt là ở những nơi ngân sách hạn chế.

Nhận thức được vấn đề này, các nhà nghiên cứu thống kê và toán học trên thế giới đã hợp tác với nhau để phát triển một phần mềm mới, với tiêu chí mã nguồn mở (open source), nhằm tạo ra một công cụ phân tích số liệu mạnh mẽ nhưng hoàn toàn miễn phí. Phần mềm này không chỉ giúp tiết kiệm chi phí mà còn khuyến khích sự tham gia và đóng góp của cộng đồng nghiên cứu toàn cầu. Mục tiêu của phần mềm mã nguồn mở này là cung cấp một giải pháp thống nhất và dễ dàng sử dụng, giúp các nhà khoa

học và nghiên cứu viên ở mọi quốc gia có thể truy cập và sử dụng mà không gặp phải những rào cản về tài chính. Đây là một bước tiến lớn trong việc thúc đẩy sự phát triển của ngành thống kê học và các ngành khoa học liên quan, góp phần làm tăng sự công bằng trong việc tiếp cận công nghệ và tài nguyên nghiên cứu.

Vào năm 1996, hai nhà thống kê học Ross Ihaka và Robert Gentleman từ Trường Đại học Auckland, New Zealand, đã giới thiệu một sáng kiến quan trọng trong lĩnh vực tính toán thống kê, đó là phát triển một ngôn ngữ mới dành riêng cho phân tích thống kê, được đặt tên là R. Bài báo của họ đã nhận được sự tán thành mạnh mẽ từ cộng đồng khoa học, và ngay lập tức thu hút sự tham gia của các nhà thống kê học trên khắp thế giới trong việc phát triển và hoàn thiện ngôn ngữ này.



Hình 1. Nhận diện R-program của R Development Core Team, 2011

Tổng quan về ArcGIS

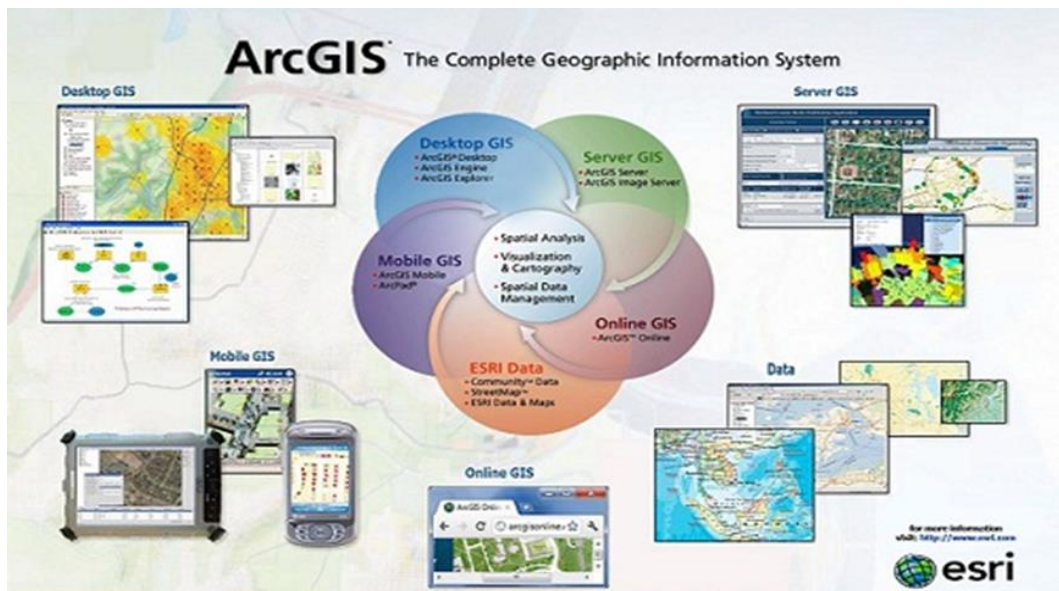
ArcGIS của **ESRI Inc.** (<http://www.esri.com>) là hệ thống **Hệ thống Tin Địa lý (GIS)** hàng đầu hiện nay, cung cấp một giải pháp toàn diện từ việc thu thập và nhập liệu số liệu, chỉnh lý, phân tích đến phân phối thông tin qua Internet. Giải pháp này đáp ứng nhu cầu của nhiều đối tượng người dùng ở các cấp độ khác nhau, từ cơ sở dữ liệu địa lý cá nhân đến cơ sở dữ liệu của các doanh nghiệp lớn.

Về mặt công nghệ, ArcGIS được xem là một hệ thống GIS hoàn chỉnh, mang tính chất mở và tổng thể. Các chuyên gia GIS hiện nay đánh giá công nghệ của ESRI là một giải pháp có khả năng khai thác tối đa các chức năng của GIS, có thể áp dụng cho các ứng dụng trên nhiều nền tảng khác nhau, bao gồm:

- **ArcGIS Desktop:** Dành cho các ứng dụng GIS trên máy tính cá nhân, phục vụ cho việc phân tích dữ liệu không gian, chỉnh sửa bản đồ, và tạo báo cáo chuyên sâu.
- **ArcGIS Server:** Dùng để triển khai các dịch vụ GIS trên máy chủ, giúp tổ chức và phân phối các dịch vụ bản đồ và dữ liệu không gian cho người dùng từ xa.
- **ArcIMS (ArcGIS Internet Map Server) và ArcGIS Online:** Các giải pháp trực tuyến cho phép chia sẻ bản đồ và thông tin không gian qua mạng Internet, phục vụ cho việc phân tích và trình bày dữ liệu không gian một cách dễ dàng và hiệu quả.
- **ArcPAD:** Ứng dụng GIS cho thiết bị di động, giúp thu thập và xử lý dữ liệu GIS ngay trên các thiết bị cầm tay, hỗ trợ các công tác khảo sát và thu thập dữ liệu hiện trường.

Một điểm mạnh quan trọng của ArcGIS là khả năng **tương thích cao** với nhiều loại sản phẩm GIS từ các hãng khác nhau, điều này giúp người dùng dễ dàng tích hợp và sử dụng các công cụ và dữ liệu từ các hệ thống GIS khác mà không gặp phải vấn đề tương thích. Nhờ vào tính linh hoạt và khả năng mở rộng, ArcGIS đã trở thành công cụ phổ biến trong các ngành công nghiệp, chính phủ và nghiên cứu, hỗ trợ các hoạt động phân tích không gian, lập kế hoạch đô thị, bảo vệ môi trường, và nhiều lĩnh vực khác.

Với các tính năng mạnh mẽ và tích hợp đa dạng, ArcGIS đã và đang tiếp tục khẳng định vị thế của mình là công cụ GIS tiên tiến và toàn diện nhất hiện nay, đáp ứng đầy đủ nhu cầu phân tích và quản lý dữ liệu không gian cho các tổ chức và cá nhân.



Hình 4. Bộ phần mềm ứng dụng ArcGIS (Nguồn: ESRI)

1.9. Phạm vi nghiên cứu

Trong nghiên cứu học viên tập trung nghiên cứu hai khu vực chính là Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông cửu Long, là hai khu vực đại diện cho hai miền Bắc và Nam, nơi tập trung đông dân cư và mật độ giao thông cao, khu công nghiệp nhiều. Thời gian nghiên cứu trong giai đoạn từ năm 2019- 2021.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ THU THẬP DỮ LIỆU

2.1. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu được tải về thông qua các dataset khác nhau, trên website (<https://disc.gsfc.nasa.gov>). Các chất ô nhiễm được tải về, với thời gian ghi trải dài từ 0h 1/1/2019 cho đến 23h59p 31/12/2019. Từng chất cụ thể được tải về từ các bộ dữ liệu với độ phân giải khác nhau, với các khoảng cách khác nhau cho từng điểm với thời gian ghi của dữ liệu. Tổng các chất có thể được tải về thông qua các dữ liệu vệ tinh bao gồm : CO [20], NO₂ [21], SO₂ [22], PM_{2.5}[23].

Thông qua việc sử dụng các dịch vụ cắt, lọc dữ liệu có sẵn lúc tải về, ta có thể chỉ tải dữ liệu trong vùng quan sát để giảm tải thời gian xử lý của hệ thống. Dữ liệu được tải về và hình dung, cụ thể hóa với tọa độ [99.5,8,112,23] để có thể nhìn toàn cảnh khu vực Việt Nam và một số các vùng lân cận. Dữ liệu được tải về ở dưới định dạng tài liệu netcdf (.nc4 hay .nc) để có thể tiếp tục xử lý trên các phần mềm GIS (geographical information system) và các phần mềm phân tích số liệu khác như R.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu bao gồm:

- + Phương pháp thu thập số liệu trên vệ tinh
- + Phương pháp chuyên gia để phân tích các chất trong nghiên cứu
- + Phương pháp vẽ bản biểu đồ
- + Phương pháp vẽ bản đồ

Thu thập dữ liệu các chất trên website <https://disc.gsfc.nasa.gov> sau đó dữ liệu được xử lý qua phần mềm R để có số liệu cụ thể và vẽ biểu đồ, số liệu tiếp tục chuyển sang hệ thống các phần mềm GIS để vẽ bản đồ phân bố các chất trên từng khu vực theo mùa.

Xử lý dữ liệu bằng phần mềm R: R (www.r-project.org) hiện nay là một môi trường lập trình mã nguồn mở đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ khoa học cơ bản đến các ngành công nghiệp và nghiên cứu ứng dụng. Được phát triển với mục tiêu cung cấp một ngôn ngữ thông dịch mạnh mẽ, R không chỉ

hỗ trợ các phép tính toán thống kê phức tạp mà còn cho phép người dùng thực hiện các phân tích dữ liệu tương tác một cách linh hoạt. Một trong những yếu tố quan trọng khiến R trở thành sự lựa chọn phổ biến cho cộng đồng nghiên cứu là tính miễn phí và mã nguồn mở của nó.

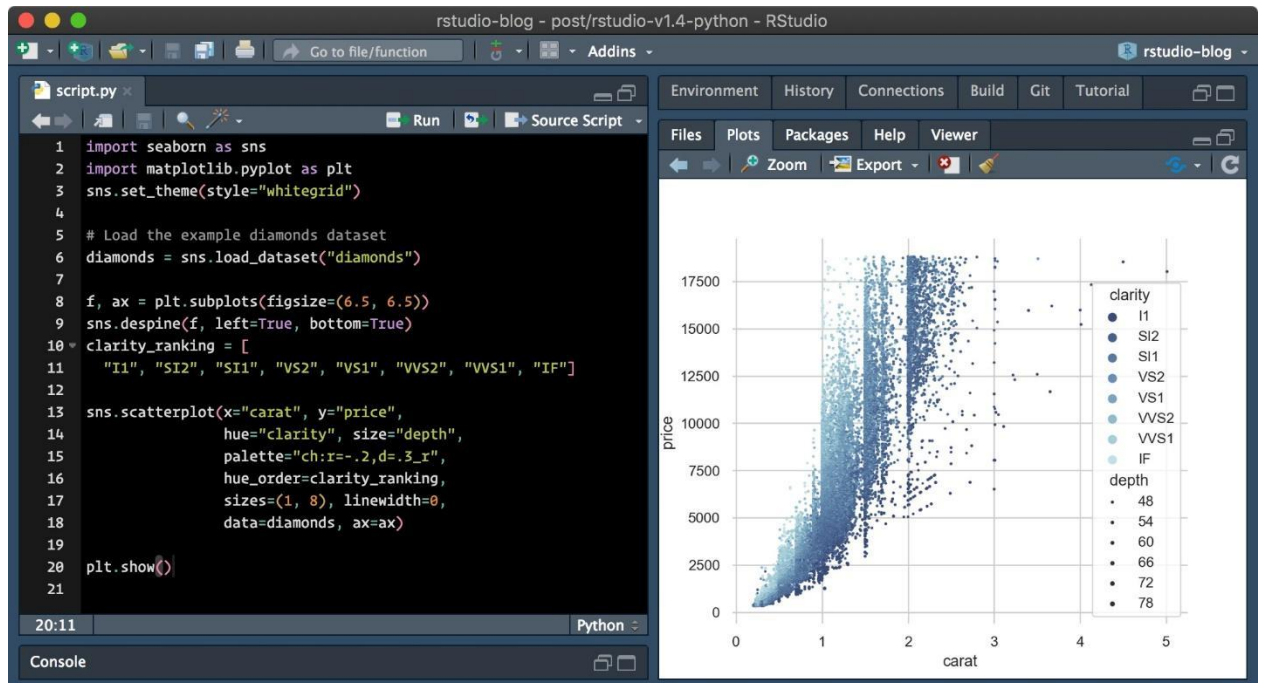
R là một ngôn ngữ lập trình hàm cấp cao, đồng thời cũng là một môi trường mạnh mẽ để thực hiện tính toán thống kê. Nó cung cấp một bộ công cụ phong phú, hỗ trợ người dùng trong việc phân tích dữ liệu, khám phá tri thức và khai thác dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau. Không giống như các phần mềm thương mại đắt tiền, R hoàn toàn miễn phí và mã nguồn mở, điều này làm cho nó trở thành một lựa chọn lý tưởng cho các nhà nghiên cứu, đặc biệt là ở các quốc gia đang phát triển, nơi chi phí sử dụng phần mềm thống kê có thể là một rào cản lớn.

Trong hơn một thập kỷ qua, R đã được các trường đại học và các trung tâm nghiên cứu trên toàn thế giới ứng dụng rộng rãi. Phần mềm này không chỉ mang lại những tính năng vượt trội giống như các phần mềm thống kê thương mại như SPSS, AMOS, STATA hay EViews mà còn cung cấp khả năng tùy biến và mở rộng không giới hạn, nhờ vào cộng đồng người dùng đông đảo và các gói phần mềm (packages) được phát triển liên tục. Đặc biệt, ở Việt Nam, trong những năm gần đây, R đã bắt đầu được sử dụng rộng rãi trong giảng dạy và nghiên cứu, trở thành một công cụ quan trọng trong phân tích thống kê.

Sau gần 10 năm phát triển, R hiện nay đã có một cộng đồng người dùng toàn cầu đông đảo, với hơn một triệu người sử dụng, từ các nhà thống kê học, toán học đến những người làm nghiên cứu trong các lĩnh vực khác nhau. Phần mềm này đã trở thành một công cụ không thể thiếu đối với những ai làm việc trong các lĩnh vực khoa học, và đặc biệt là đối với các nhà nghiên cứu ở các quốc gia đang phát triển như Việt Nam. Do đó, việc học và sử dụng R là một yêu cầu cần thiết đối với các nhà nghiên cứu muốn thực hiện phân tích thống kê và vẽ đồ thị hiệu quả.

Ngoài R, RStudio là một công cụ quan trọng hỗ trợ người dùng trong việc phát triển ứng dụng R. Đây là một Môi trường Phát triển Tích hợp (IDE) cho R, cung cấp giao diện người dùng trực quan, giúp việc lập trình và phân tích trở nên dễ dàng và hiệu quả hơn. RStudio có hai phiên bản chính: RStudio Desktop, một ứng dụng cài đặt trên máy tính để bàn, và RStudio Server, cho phép người dùng truy cập từ xa qua trình duyệt

web. Được phát triển bằng các ngôn ngữ lập trình như C++, Java và JavaScript, RStudio không chỉ giúp người dùng thực hiện các phép toán thống kê mà còn tạo ra các báo cáo và đồ thị một cách nhanh chóng và dễ dàng, góp phần thúc đẩy việc sử dụng R trong cộng đồng nghiên cứu toàn cầu.



Hình 2. Giao diện khi sử dụng phần mềm Rstudio

Đối với mục đích phân tích dữ liệu ô nhiễm không khí, R là một hệ thống lý tưởng, mang lại những ưu điểm vượt trội so với các công cụ phân tích khác. Các tính năng cốt lõi của R như thao tác dữ liệu hiệu quả, phân tích dữ liệu thống kê, vẽ đồ họa và tạo ra hình ảnh chất lượng cao là những yếu tố quan trọng giúp người nghiên cứu có thể thực hiện các phân tích chính xác và trực quan về ô nhiễm không khí. Sử dụng R không chỉ giúp thực hiện các phân tích mà còn đảm bảo rằng các công cụ phân tích và đồ họa không bị giới hạn bởi các phần mềm có sẵn, mà có thể tùy chỉnh, mở rộng linh hoạt tùy theo nhu cầu nghiên cứu.

Một trong những điểm mạnh của R là khả năng mở rộng thông qua các gói phần mềm (packages) được phát triển bởi cộng đồng người dùng toàn cầu. Các công cụ này có thể tích hợp trực tiếp vào hệ thống cơ sở của R hoặc được cung cấp thông qua các gói chuyên dụng. Điều này giúp cho việc phân tích dữ liệu ô nhiễm không khí trở nên linh hoạt hơn, vì người dùng có thể tận dụng các chức năng từ các gói phần mềm riêng biệt, tùy chỉnh để phục vụ cho mục đích phân tích của mình.

Trong việc phân tích xu hướng và biến đổi dữ liệu ô nhiễm không khí theo thời gian, phần mềm mã nguồn mở R và RStudio là công cụ được sử dụng phổ biến. Gói phân tích dữ liệu "openair" là một trong những công cụ quan trọng trong việc nghiên cứu ô nhiễm không khí. Ra đời vào năm 2012, gói "openair" đã được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu môi trường và hiện nay vẫn là một công cụ không thể thiếu trong phân tích dữ liệu ô nhiễm không khí. "Openair" cung cấp một bộ công cụ mạnh mẽ để phân tích dữ liệu theo thời gian, vẽ đồ thị tương tác, và tính toán các chỉ số ô nhiễm, giúp các nhà nghiên cứu đưa ra những nhận định chính xác về chất lượng không khí và các yếu tố ảnh hưởng đến ô nhiễm.

Nhờ vào tính linh hoạt và khả năng tùy chỉnh cao, R và các gói phân tích như "openair" đã trở thành công cụ quan trọng không chỉ trong nghiên cứu ô nhiễm không khí mà còn trong các lĩnh vực khác liên quan đến phân tích dữ liệu môi trường, từ dự báo chất lượng không khí đến nghiên cứu tác động của ô nhiễm đến sức khỏe cộng đồng.

Openair là một gói phần mềm mã nguồn mở trong môi trường lập trình R, được phát triển chủ yếu để phân tích dữ liệu đo ô nhiễm không khí. Tuy nhiên, gói này cũng được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu khoa học khí quyển và các lĩnh vực liên quan đến môi trường. Openair cung cấp một bộ công cụ mạnh mẽ để xử lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu, giúp các nhà nghiên cứu, các chuyên gia môi trường, và các cơ quan chức năng có cái nhìn rõ ràng và chi tiết về chất lượng không khí và các yếu tố ảnh hưởng đến nó.

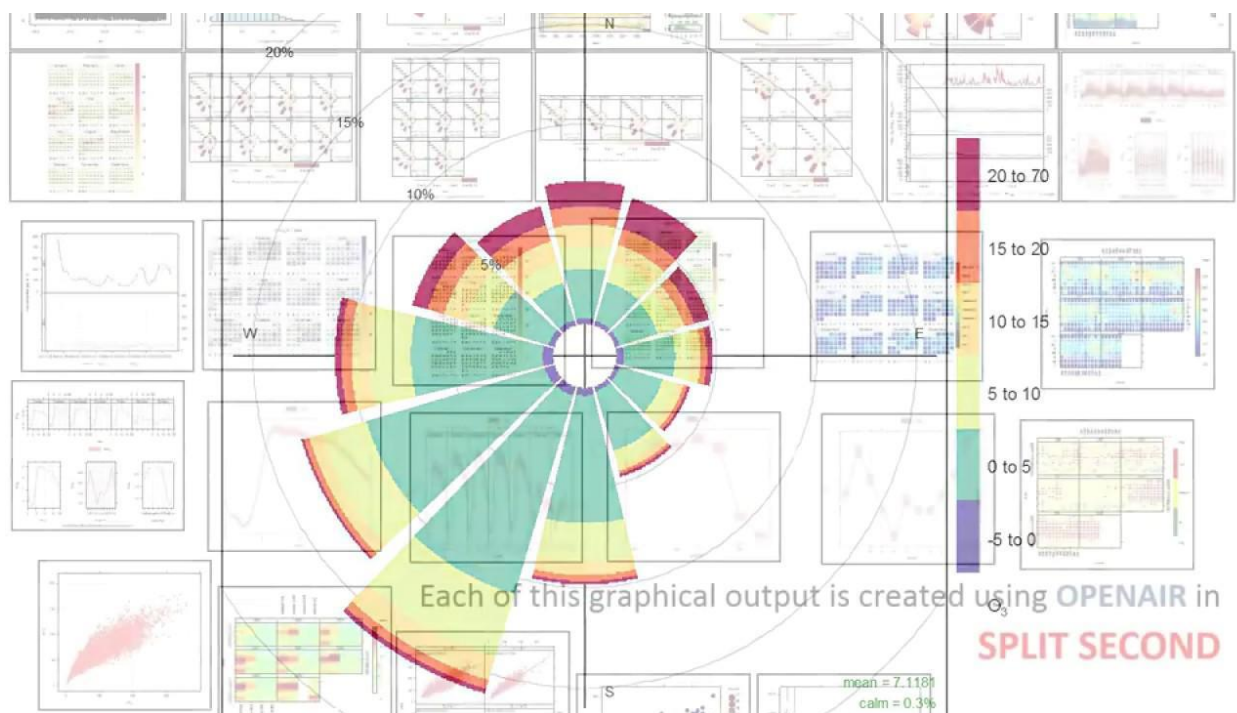
Gói openair bao gồm nhiều công cụ linh hoạt để nhập liệu, xử lý dữ liệu ô nhiễm không khí, và thực hiện một loạt các phân tích thống kê. Điều này giúp nâng cao khả năng hiểu biết về các xu hướng ô nhiễm và các yếu tố tác động đến chất lượng không khí. Một trong những tính năng nổi bật của gói này là khả năng xử lý và phân tích các bộ dữ liệu lớn, thường là dữ liệu đo ô nhiễm không khí theo giờ trong nhiều năm, giúp tiết kiệm thời gian và công sức trong việc phân tích dữ liệu lớn và phức tạp.

Với openair, người dùng có thể phân tích dữ liệu một cách nhanh chóng và hiệu quả, đồng thời dễ dàng trực quan hóa dữ liệu dưới dạng đồ thị và biểu đồ, giúp việc theo dõi các xu hướng ô nhiễm không khí theo thời gian trở nên dễ dàng hơn. Các phân tích được thực hiện không chỉ giúp hiểu rõ các biến động ô nhiễm mà còn cung cấp những hình

ảnh trực quan về vấn đề, giúp đưa ra những quyết định chính xác và kịp thời về các biện pháp can thiệp và kiểm soát ô nhiễm.

Một trong những ưu điểm chính của openair là khả năng tạo ra các đồ thị, biểu đồ trực quan giúp người dùng dễ dàng nhận diện các xu hướng và mẫu hình ô nhiễm theo thời gian. Các công cụ này không chỉ hỗ trợ phân tích dữ liệu mà còn giúp trình bày kết quả một cách rõ ràng, dễ hiểu, từ đó nâng cao hiệu quả trong việc truyền đạt thông tin về ô nhiễm không khí tới cộng đồng và các nhà hoạch định chính sách.

Nhờ vào tính linh hoạt, khả năng mở rộng và giao diện thân thiện với người sử dụng, openair đã trở thành một công cụ không thể thiếu trong nghiên cứu ô nhiễm không khí và khoa học khí quyển. Gói phần mềm này không chỉ hỗ trợ các nhà khoa học trong việc phân tích dữ liệu môi trường mà còn góp phần nâng cao nhận thức cộng đồng về tác động của ô nhiễm không khí đối với sức khỏe con người và môi trường.



Hình 3. Gói "openair" của Rstudio

Vẽ bản đồ bằng phần mềm GIS: Khi dữ liệu được đưa vào phần mềm GIS sẽ được xử lý để vẽ bản đồ phân bố các chất thông qua các phần mềm như: ArcGIS Desktop, ArcView, ArcEditor, ArcInfo

ArcGIS Desktop (với phiên bản mới nhất là ArcGIS 10) là một bộ công cụ mạnh mẽ và linh hoạt được thiết kế để hỗ trợ người dùng trong việc quản lý, cập nhật, phân tích và xuất bản các thông tin địa lý, tạo ra một hệ thống thông tin địa lý (GIS) hoàn chỉnh. Phần mềm này cung cấp khả năng tích hợp, xử lý và phân tích dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính từ nhiều nguồn khác nhau, giúp người sử dụng có thể thực hiện các công việc GIS từ đơn giản đến phức tạp một cách hiệu quả. Các tính năng chính của ArcGIS Desktop bao gồm:

- **Tạo và chỉnh sửa dữ liệu tích hợp:** Đây là một tính năng quan trọng, cho phép người dùng tạo và chỉnh sửa dữ liệu không gian kết hợp với dữ liệu thuộc tính. Hệ thống hỗ trợ nhiều loại định dạng dữ liệu khác nhau, từ dữ liệu truyền thống đến các dữ liệu được lấy từ Internet hoặc các dịch vụ GIS trực tuyến, mang lại sự linh hoạt cao trong việc làm việc với nhiều loại dữ liệu khác nhau.
- **Truy vấn dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính:** ArcGIS Desktop cung cấp các công cụ mạnh mẽ cho phép truy vấn dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính từ nhiều nguồn khác nhau. Người dùng có thể thực hiện truy vấn qua giao diện đồ họa hoặc thông qua các câu lệnh SQL nâng cao, giúp việc tìm kiếm và khai thác thông tin trở nên chính xác và hiệu quả.
- **Hiển thị và phân tích dữ liệu:** Với các công cụ phân tích không gian mạnh mẽ, ArcGIS Desktop giúp người dùng hiển thị và phân tích các dữ liệu không gian kết hợp với dữ liệu thuộc tính. Các công cụ này hỗ trợ phân tích địa lý, tính toán khoảng cách, phân tích địa hình, phân vùng và nhiều phương pháp phân tích không gian khác, giúp khai thác sâu hơn thông tin từ dữ liệu.
- **Tạo bản đồ chuyên đề và bản in chất lượng cao:** Một trong những điểm mạnh của ArcGIS Desktop là khả năng tạo ra các bản đồ chuyên đề và bản in có chất lượng trình bày chuyên nghiệp. Người dùng có thể tùy chỉnh bản đồ để phù hợp với các mục đích sử dụng khác nhau, từ bản đồ cho nghiên cứu đến bản đồ phục vụ cho công tác quản lý, lập kế hoạch.

ArcGIS Desktop là một bộ phần mềm ứng dụng bao gồm các công cụ chủ chốt như ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ModelBuilder, ArcScene và ArcGlobe. Mỗi công cụ có chức năng riêng biệt, hỗ trợ người dùng thực hiện các bài toán GIS từ cơ bản đến

phức tạp, bao gồm việc tạo bản đồ, phân tích không gian, chỉnh sửa dữ liệu, quản lý dữ liệu và xử lý dữ liệu. Khi kết hợp các công cụ này lại với nhau, người sử dụng có thể thực hiện các tác vụ GIS phức tạp mà không gặp trở ngại, giúp tiết kiệm thời gian và nâng cao hiệu quả công việc.

Phần mềm ArcGIS Desktop được cung cấp với ba phiên bản có cấp độ chuyên sâu khác nhau, phù hợp với nhu cầu sử dụng của người dùng: ArcView, ArcEditor, và ArcInfo. Mỗi phiên bản này đều cung cấp những tính năng và công cụ mạnh mẽ, giúp người dùng thực hiện các nhiệm vụ GIS từ cơ bản đến phức tạp, đáp ứng được yêu cầu của các ngành công nghiệp và các ứng dụng khác nhau.

Đoạn văn trên được mở rộng để làm rõ hơn về các tính năng của ArcGIS Desktop và cách thức hoạt động của các công cụ trong bộ phần mềm này.

ArcView là một phiên bản trong bộ phần mềm ArcGIS Desktop, cung cấp đầy đủ các chức năng để biểu diễn, quản lý, xây dựng và phân tích dữ liệu địa lý. Đây là công cụ lý tưởng cho những người dùng có nhu cầu thực hiện các tác vụ GIS cơ bản đến trung cấp, bao gồm việc phân tích không gian, biên tập dữ liệu và thể hiện các mối quan hệ giữa các lớp dữ liệu khác nhau. Với ArcView, người dùng có thể dễ dàng phân tích và quản lý thông tin địa lý để đưa ra những quyết định chính xác và có cơ sở khoa học. Các tính năng nổi bật của ArcView bao gồm:

- **Ra quyết định chính xác hơn dựa trên dữ liệu địa lý:** ArcView cung cấp các công cụ phân tích không gian mạnh mẽ, cho phép người sử dụng phân tích dữ liệu địa lý để đưa ra những quyết định chính xác hơn trong các lĩnh vực như quy hoạch, quản lý tài nguyên, phân tích môi trường và nhiều ứng dụng khác.
- **Xem và phân tích dữ liệu không gian bằng nhiều phương pháp:** ArcView hỗ trợ người dùng xem và phân tích dữ liệu không gian bằng nhiều phương pháp khác nhau, từ các phương pháp phân tích cơ bản như tính toán khoảng cách, đến các phương pháp phân tích phức tạp hơn như phân tích mô hình địa lý, giúp người sử dụng khai thác tối đa các thông tin từ dữ liệu không gian.
- **Xây dựng dữ liệu địa lý đơn giản và dễ dàng:** Với giao diện người dùng trực quan và dễ sử dụng, ArcView cho phép người dùng xây dựng và chỉnh sửa dữ liệu địa lý một cách nhanh chóng và hiệu quả. Công cụ biên tập dữ liệu của

ArcView giúp tạo ra các bản đồ và dữ liệu không gian chính xác mà không yêu cầu kỹ năng GIS chuyên sâu.

- **Tạo ra các bản đồ có chất lượng cao:** ArcView cho phép người sử dụng tạo ra các bản đồ chuyên đề và bản đồ theo yêu cầu có chất lượng in ấn cao, đáp ứng các nhu cầu trình bày và báo cáo chuyên nghiệp. Công cụ thiết kế bản đồ trong ArcView cung cấp nhiều lựa chọn về biểu đồ, màu sắc và thông tin bổ sung để tạo ra các bản đồ trực quan và dễ hiểu.
- **Quản lý tất cả các file, CSDL và các nguồn dữ liệu:** ArcView không chỉ hỗ trợ người dùng trong việc phân tích và biểu diễn dữ liệu mà còn cung cấp các công cụ để quản lý các tệp dữ liệu, cơ sở dữ liệu (CSDL) và các nguồn dữ liệu GIS khác nhau. Người dùng có thể tổ chức và duy trì dữ liệu một cách có hệ thống, giúp tăng cường khả năng truy xuất và sử dụng dữ liệu trong suốt quá trình làm việc.
- **Tùy biến giao diện người dùng theo yêu cầu:** Một trong những điểm mạnh của ArcView là khả năng tùy chỉnh giao diện người dùng theo nhu cầu sử dụng cụ thể. Người dùng có thể điều chỉnh các thanh công cụ, cửa sổ và các phần mềm hỗ trợ sao cho phù hợp với mục đích công việc của mình, giúp tối ưu hóa hiệu quả công việc.

Với những tính năng này, ArcView là một công cụ GIS mạnh mẽ, lý tưởng cho những ai muốn thực hiện các phân tích cơ bản và trung cấp về dữ liệu không gian, đồng thời tạo ra các bản đồ và báo cáo dễ hiểu, trực quan. Phiên bản mở rộng này giải thích chi tiết hơn về các tính năng của ArcView và cách nó hỗ trợ người dùng trong các ứng dụng GIS thực tế.

ArcEditor là một bộ sản phẩm phần mềm mạnh mẽ, cung cấp nhiều chức năng để chỉnh sửa và quản lý dữ liệu địa lý. Đây là một phiên bản nâng cấp của ArcView, bổ sung thêm nhiều công cụ chỉnh sửa và biên tập dữ liệu chuyên sâu. Với ArcEditor, người dùng có thể thực hiện các tác vụ phức tạp liên quan đến hệ thống thông tin địa lý (GIS), đặc biệt là trong các dự án yêu cầu tính chính xác cao và khả năng hợp tác giữa nhiều người dùng. Các tính năng nổi bật của ArcEditor bao gồm:

- **Công cụ CAD mạnh mẽ:** ArcEditor cung cấp các công cụ CAD (Computer-Aided Design) để tạo ra và chỉnh sửa các đặc tính GIS, giúp nâng cao khả năng chỉnh sửa các đối tượng địa lý với độ chính xác cao.
- **Cơ sở dữ liệu địa lý thông minh:** ArcEditor cho phép người dùng tạo ra các cơ sở dữ liệu địa lý thông minh, giúp tổ chức và quản lý dữ liệu không gian một cách hiệu quả, đồng thời hỗ trợ các phân tích và ứng dụng GIS phức tạp.
- **Quy trình công việc nhóm chuyên nghiệp:** ArcEditor cho phép xây dựng các quy trình công việc chuyên nghiệp cho một nhóm làm việc, đồng thời hỗ trợ việc biên tập dữ liệu bởi nhiều người dùng đồng thời, giúp tăng cường hiệu quả làm việc nhóm.
- **Tính toàn vẹn của không gian:** Phần mềm hỗ trợ duy trì tính toàn vẹn của không gian, bao gồm các quan hệ hình học và topo giữa các đối tượng địa lý, giúp đảm bảo rằng dữ liệu không bị sai lệch trong quá trình biên tập và quản lý.
- **Quản lý và mở rộng mạng lưới hình học:** Với ArcEditor, người dùng có thể quản lý và mở rộng các mạng lưới hình học, điều này rất quan trọng trong các dự án yêu cầu sự liên kết chặt chẽ giữa các yếu tố không gian.
- **Tăng cường năng suất biên tập:** Các công cụ mạnh mẽ và tính năng tối ưu hóa giúp tăng cường năng suất biên tập, giảm thiểu thời gian và công sức trong việc chỉnh sửa và cập nhật dữ liệu địa lý.
- **Quản lý môi trường thiết kế đa người dùng:** ArcEditor hỗ trợ môi trường thiết kế đa người dùng với tính năng versioning, cho phép nhiều người làm việc trên cùng một dự án mà không lo bị xung đột dữ liệu.
- **Duy trì tính toàn vẹn dữ liệu:** Phần mềm giúp duy trì tính toàn vẹn giữa các lớp chủ đề, đồng thời hỗ trợ tư duy logic trong việc quản lý và xử lý dữ liệu không gian.
- **Chỉnh sửa dữ liệu độc lập:** ArcEditor cho phép người dùng chỉnh sửa dữ liệu độc lập, ngay cả khi không có kết nối với cơ sở dữ liệu, giúp làm việc hiệu quả trong môi trường không kết nối mạng.

Tóm lại, ArcEditor là một công cụ rất phù hợp cho những người làm việc với dữ liệu địa lý phức tạp và yêu cầu khả năng biên tập, quản lý và phân tích dữ liệu không gian với độ chính xác cao và hiệu quả tối ưu.

ArcInfo là bộ phần mềm đầy đủ và mạnh mẽ nhất trong dòng sản phẩm ArcGIS, bao gồm tất cả các chức năng của ArcView và ArcEditor, đồng thời bổ sung nhiều công cụ và khả năng mạnh mẽ hơn trong việc tạo, quản lý và xử lý dữ liệu địa lý. ArcInfo không chỉ giúp người dùng xây dựng và quản lý hệ thống GIS (Geographic Information System) toàn diện, mà còn cung cấp các công cụ để phân tích, xử lý và trực quan hóa dữ liệu không gian, cũng như khả năng xuất bản bản đồ và chuyển đổi dữ liệu giữa các định dạng khác nhau.

Các tính năng nổi bật của ArcInfo bao gồm:

- **Mô hình hóa xử lý không gian:** ArcInfo cho phép xây dựng các mô hình xử lý không gian phức tạp, hữu ích trong việc phân tích và tìm ra các mối quan hệ giữa các yếu tố không gian, từ đó có thể tích hợp dữ liệu từ các nguồn khác nhau để thực hiện phân tích và ra quyết định.
- **Chồng lớp và phân tích thống kê:** Phần mềm hỗ trợ thực hiện chồng lớp các lớp vector, thực hiện nội suy và phân tích thống kê dữ liệu không gian, giúp người dùng phân tích dữ liệu địa lý một cách chính xác và chi tiết. Điều này đặc biệt hữu ích trong việc đánh giá các yếu tố không gian như nồng độ ô nhiễm, nhiệt độ, hoặc sự phân bố dân cư.
- **Tạo đặc tính cho sự kiện và chồng xếp đặc tính:** ArcInfo cho phép người dùng tạo và quản lý các đặc tính cho các sự kiện không gian, cũng như thực hiện việc chồng xếp các đặc tính này để có thể phân tích và quan sát mối quan hệ giữa các sự kiện.
- **Chuyển đổi và quản lý định dạng dữ liệu:** Một tính năng quan trọng của ArcInfo là khả năng chuyển đổi dữ liệu và các định dạng của dữ liệu giữa nhiều loại định dạng khác nhau, giúp người dùng dễ dàng làm việc với các bộ dữ liệu từ các nguồn khác nhau mà không lo gặp phải vấn đề tương thích.
- **Xây dựng bộ dữ liệu phức tạp và mô hình phân tích:** ArcInfo hỗ trợ xây dựng những bộ dữ liệu phức tạp, mô hình phân tích mạnh mẽ, cũng như các đoạn mã

tự động hóa các quá trình GIS, giúp tối ưu hóa quy trình làm việc và tiết kiệm thời gian cho người dùng.

- **Trình diễn và xuất bản bản đồ:** Phần mềm cung cấp các công cụ trình diễn và thiết kế bản đồ chuyên nghiệp, hỗ trợ việc in ấn và xuất bản bản đồ lên các phương tiện khác nhau như in ấn, web, hoặc ứng dụng di động.

Một ứng dụng thực tiễn của ArcInfo là trong việc phân tích và hình dung dữ liệu ô nhiễm không khí. Sau khi dữ liệu về nồng độ chất ô nhiễm được thu thập, người dùng có thể tải lên phần mềm ArcGIS để hình dung nồng độ chất ô nhiễm trên bản đồ của khu vực quan sát. Các vùng có nồng độ ô nhiễm cao sẽ được phân tích và phân loại, giúp người dùng quan sát sự thay đổi nồng độ chất ô nhiễm theo thời gian. Bằng cách này, người dùng có thể dễ dàng nhận diện xu hướng ô nhiễm trong không khí tại các khu vực khác nhau.

Trong khi ArcInfo hỗ trợ mạnh mẽ về phân tích không gian và dữ liệu GIS, các công cụ như RStudio cũng đóng vai trò quan trọng trong việc phân tích số liệu. Các gói xử lý dữ liệu chuyên biệt trong R như openair và tidyverse có thể được sử dụng kết hợp với ArcGIS để phân tích chi tiết các yếu tố như nồng độ chất ô nhiễm và xu hướng thay đổi theo thời gian. Các công cụ này giúp tối ưu hóa quá trình phân tích và cung cấp kết quả chính xác và dễ hiểu.

Tóm lại, **ArcInfo** là công cụ không thể thiếu đối với những ai làm việc trong lĩnh vực GIS, phân tích không gian và trực quan hóa dữ liệu địa lý, đồng thời hỗ trợ người dùng giải quyết những vấn đề phức tạp liên quan đến môi trường và các nghiên cứu địa lý.

2.3. Dữ liệu MERRA2

MERRA-2 cung cấp dữ liệu bắt đầu từ năm 1980. MERRA2 được sinh ra từ hệ thống Quan sát Trái đất, phiên bản 5 (GEOS-5) mô hình khí quyển và hệ thống đồng hóa dữ liệu phiên bản 5.12.4 [24]. Những tiến bộ bổ sung trong cả hệ thống đồng hóa dữ liệu GEOS và hệ thống đồng hóa Nội suy thống kê điểm lưới (GSI) (Wu W-S et al. 2002) đều được đưa vào MERRA-2. GSI sử dụng quy trình cập nhật phân tích gia tăng cứ sau 6 giờ (Bloom S. et al., 1996) [5]. Độ phân giải không gian vẫn giữ nguyên (khoảng 50 km theo hướng vĩ độ) như trong MERRA. Độ phân giải mô hình GEOS-5 trên lưới hình cầu lập phương nguyên gốc là khoảng 50 km, với 72 lớp hybrid-eta từ bề mặt đến 0,01

hPa (Randles C.A. et al. 2017) [25]. Cùng với những cải tiến về đồng hóa khí tượng, MERRA-2 thực hiện một số bước quan trọng hướng tới việc phân tích lại hệ thống Trái đất hiện đang được phát triển tại GMAO. MERRA-2 là phân tích lại toàn cầu dài hạn hàng đầu nhằm đồng hóa các quan sát sol khí trên không gian và thể hiện sự tương tác của chúng với các quá trình vật lý khác trong hệ thống khí hậu [26].

Mô-đun aerosol GOCART

Các aerosol tự nhiên và nhân tạo được mô phỏng trong MERRA-2 dựa trên mô hình GOCART (Chin, M. et al. 2002; Colarco P. et al. 2010). Mô hình GOCART mô phỏng các nguồn, bể chứa và tính chất hóa học của các chất tracers aerosol hỗn hợp: bụi, SS, BC, OC (bốn thùng có kích thước lớn) và SO₄ (một chất đánh dấu số lượng lớn), Sự phát thải aerosol tự nhiên (bụi và muối biển) phụ thuộc vào tốc độ gió đối với từng kích cỡ. Cường độ phát thải của muối biển được điều chỉnh thêm khi xem xét sự điều chỉnh nhiệt độ mặt nước biển. Phát thải aerosol sunfat và carbon có nguồn gốc từ cả nguồn tự nhiên và nhân tạo. Các dạng sunfat và cacbonat sơ cấp được thải ra chủ yếu từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch, đốt sinh khối (Reanalysis thành phần hóa học tầng đối lưu phiên bản 2, sự tiêu thụ nhiên liệu sinh học cùng với các nguồn cacbon hữu cơ sinh học bổ sung [27].

Các nguồn sunfat thứ cấp bao gồm quá trình oxy hóa hóa học của khí sulfur dioxide (SO₂; Cơ sở dữ liệu phát thải cháy toàn cầu phiên bản 3 (GFEDv3.1)) và dimethyl sulfide (Lana A. et al. 2011). GOCART cũng bao gồm cơ sở dữ liệu về lượng phát thải và độ cao phun SO₂ của núi lửa từ dự án AeroCom Giai đoạn II (Diehl T. et al. 2012; Aerocom 2024), bao gồm các núi lửa phun trào và khử khí mỗi ngày trong giai đoạn 1979–2010. Các nguồn khí dung nhân tạo được phát ra ở lớp mô hình thấp nhất. Phát thải SO₂ trong lĩnh vực năng lượng (Cơ sở dữ liệu phát thải cho nghiên cứu khí quyển toàn cầu phiên bản 4.2; EDGARv4.2; European Commission, Joint Research Centre (JRC) 2024) được phát thải ở độ cao từ 100 đến 500 m so với bề mặt (Buchard et al. 2017) [11].

Quá trình thất thoát đối với tất cả các loại aerosol đã được mô tả bằng cách xem xét lắng đọng khô và lắng đọng hấp dẫn, cộng với việc loại bỏ ướt trên quy mô lớn và quét đối lưu. Điều quan trọng là phải chỉ ra rằng sự lắng đọng ướt aerosol gây ra bởi lượng mưa phụ thuộc vào sản phẩm kết tủa được hiệu chỉnh MERRA-2. Điều cuối cùng

này đã được sửa đổi để phù hợp hơn với sự thay đổi lượng mưa trong ngày với các quan trắc.

Việc sử dụng dữ liệu MERRA2 có tác dụng bổ sung cho các khu vực đo đạc không liên tục hoặc không có khả năng đo đạc trực tiếp. Dữ liệu vệ tinh khó xác định được đặc trưng chất lượng không khí trong thời gian liên tục và ở lớp sát mặt đất. Các nghiên cứu trước đó tập trung vào các thời kỳ, các hiện tượng ô nhiễm nổi cộm. Hiện tại chưa có nhiều nghiên cứu sử dụng MERRA để đánh giá PM_{2.5} cho toàn khu vực kinh tế trọng điểm phía Bắc.

Ngoại suy PM_{2.5}

Các dữ liệu các loại aerosol theo tháng của MERRA-2 sẽ được regrid về độ phân giải 0.1 ° x 0.1°.

Sau đó sẽ áp dụng công thức dưới đây để ngoại suy PM_{2.5}. Các thành phần aerosol được xem xét trong MERRA-2 reanalysis bao gồm SO₄, BC, DU_{2.5}, SS_{2.5} và OC. Phương pháp được áp dụng cho nhiều nơi trên thế giới châu Á, châu Âu và các nghiên cứu ứng dụng MERRA-2 gần đây:

$$[PM_{2.5}] = 1.375 \times [SO_4] + 1.8 \times [OC] + [BC] + [DU_{2.5}] + [SS_{2.5}] \quad [4]$$

[BC]: Black Carbon Surface Mass Concentration

[DU_{2.5}]: Dust Surface Mass Concentration - PM_{2.5}

[OC] Organic Carbon Surface Mass Concentration

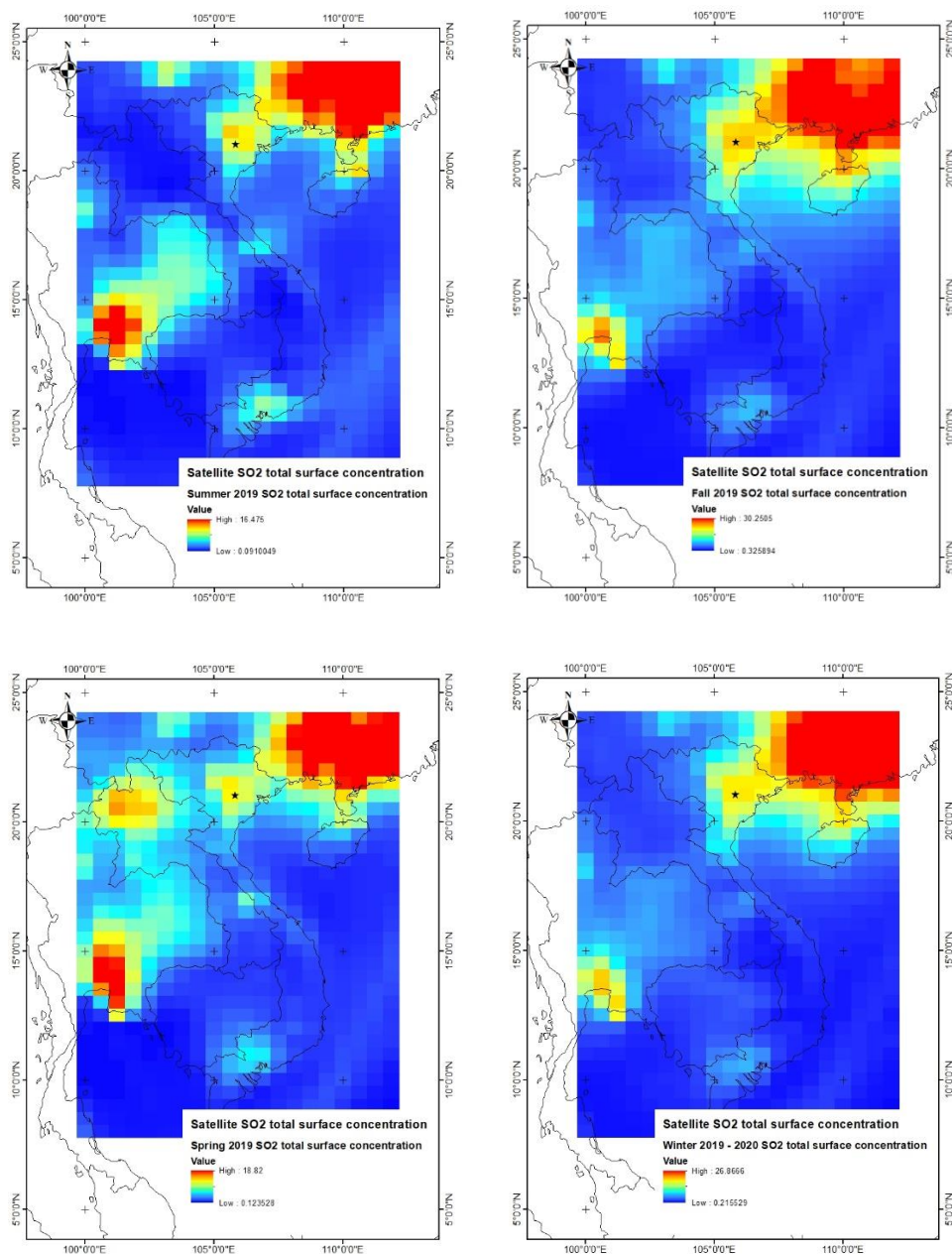
[SO₄] SO₄ Surface Mass Concentration

[SS_{2.5}] Sea Salt Surface Mass Density - PM_{2.5}

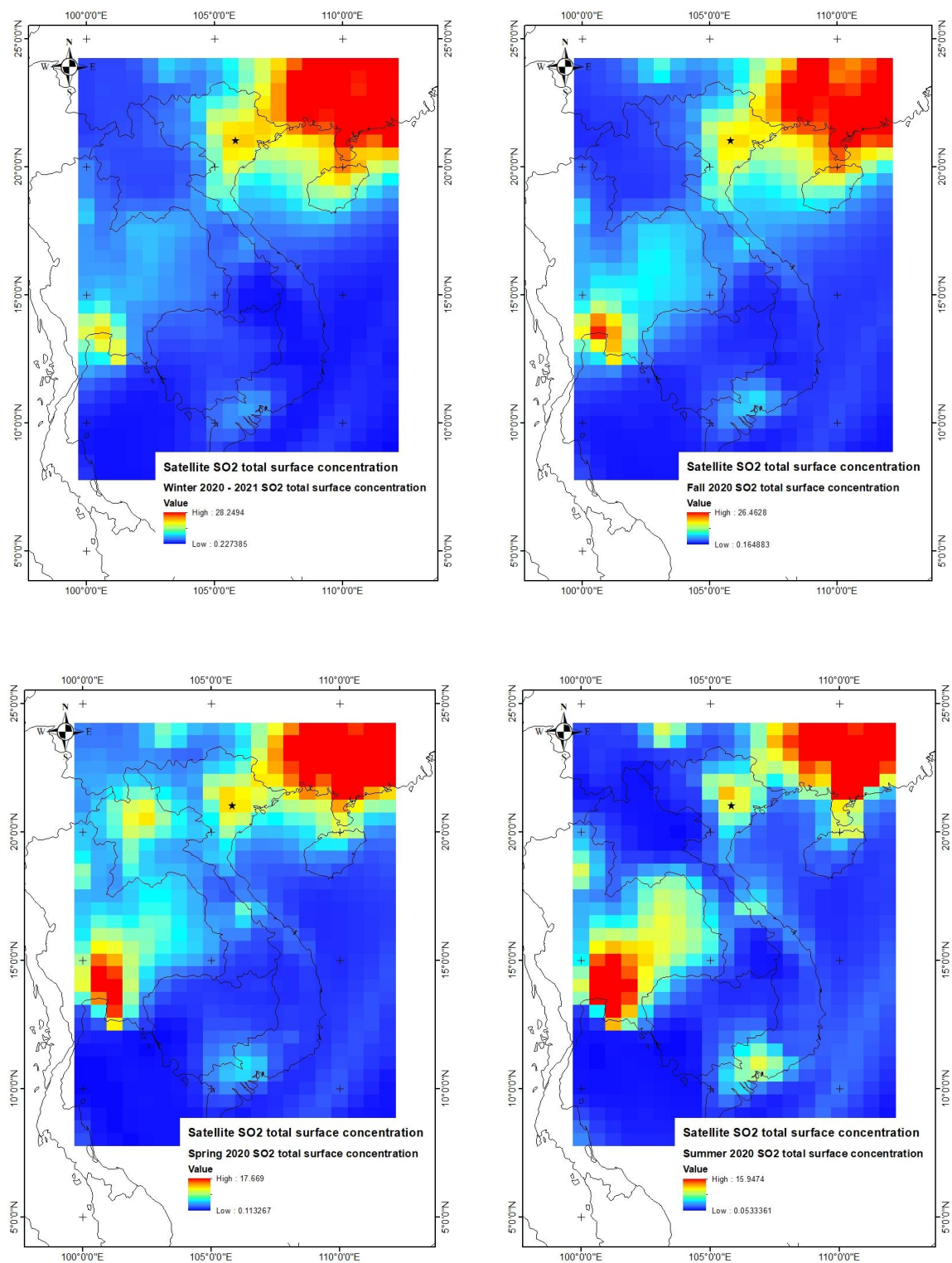
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bằng phương pháp lấy dữ liệu vệ tinh từ MERRA-2 như đã mô tả ở chương 2, kết hợp phần mềm thông tin GIS, các chất ô nhiễm được theo dõi theo mùa tại khu vực nghiên cứu chính là Miền Nam và Miền Bắc, 2 khu vực này được lựa chọn làm đại diện cho ô nhiễm chính tại Việt Nam, các khu vực khác trải dài từ Bắc Trung Bộ đến Nam Trung Bộ không có sự khác biệt lớn và mức độ ô nhiễm chưa đến mức cảnh báo:

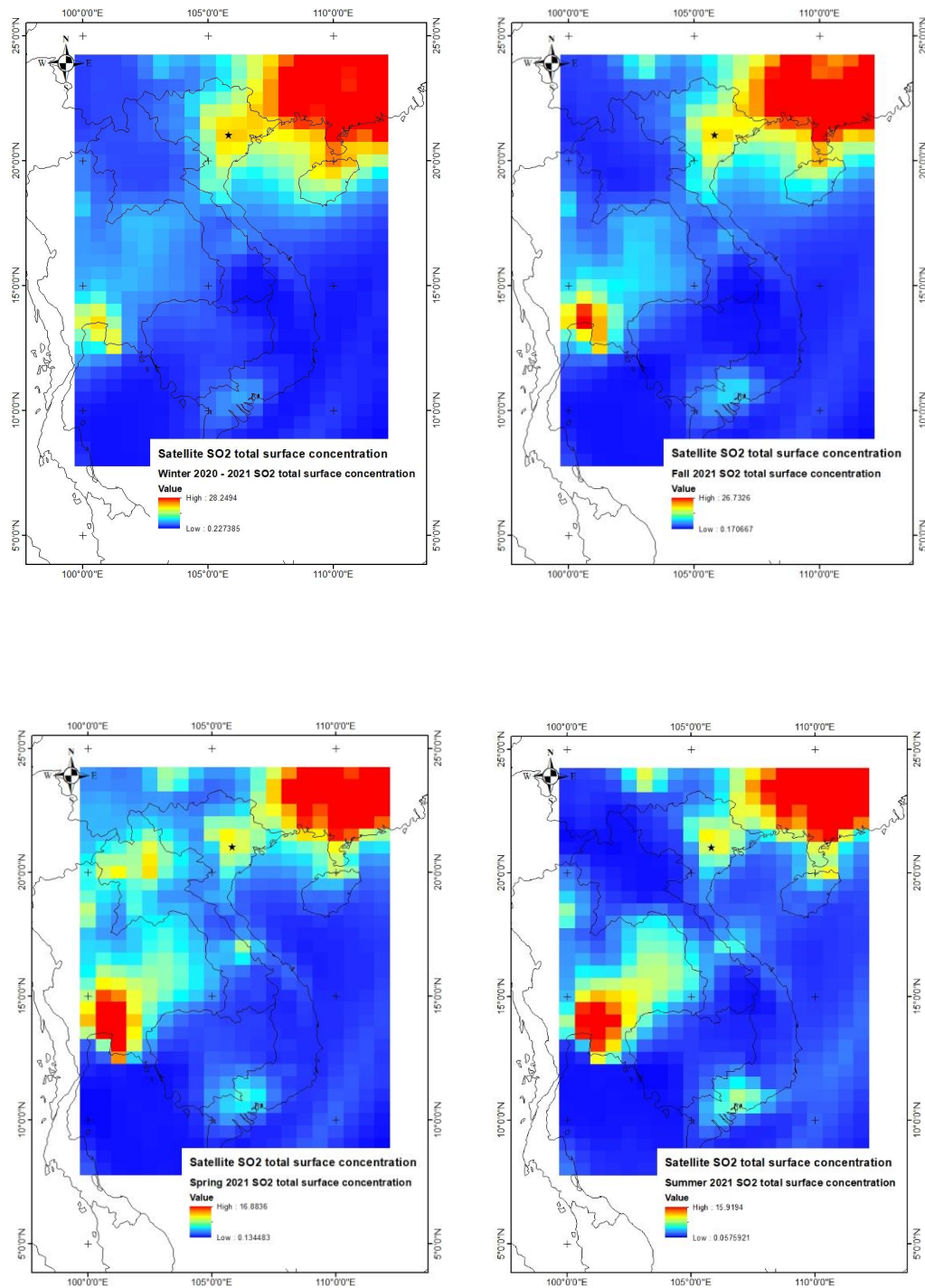
3.1. Nồng độ SO_2



Hình 5: Nồng độ bề mặt SO_2 theo các mùa từ năm 2019



Hình 6: Nồng độ bề mặt SO₂ theo các mùa từ năm 2020



Hình 7: Nồng độ bề mặt SO₂ theo các mùa từ năm 2021

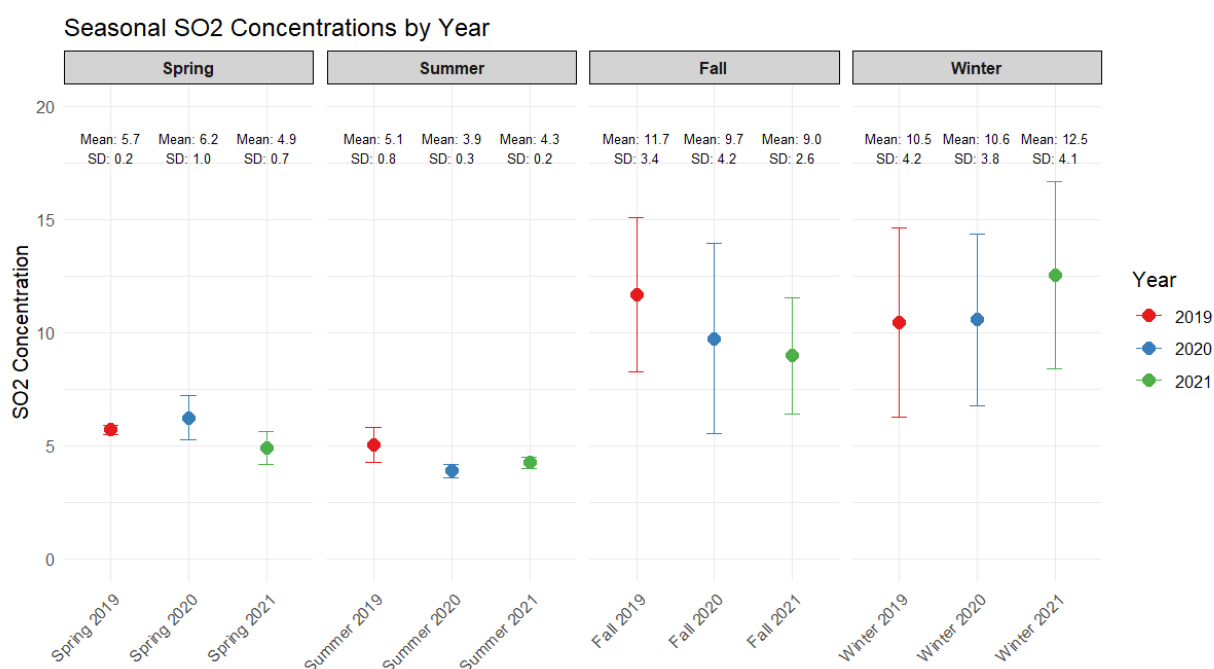
Trong suốt khoảng thời gian quan sát từ năm 2019 - 2021 cho thấy nồng độ SO_2 được thấy cao nhất tập trung ở khu vực xung quanh 2 thành phố Hà Nội và Hồ Chí Minh. Nồng độ trung bình của SO_2 trong cả nước là $3.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, trong khi nồng độ trung bình của khu vực gần 2 thành phố lần lượt là $8.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và $3.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Điều này có thể hiểu được, do 2 thành phố này và các khu vực xung quanh là tập hợp các khu công nghiệp, có tiềm năng phát thải lớn loại khí thải này. Đi sâu vào từng khu vực nổi bật một với khung tọa độ $[105,20.5;107,22]$ và $[105.5,10,107,11]$ tương ứng. Có thể thấy rằng nồng độ của SO_2 trên bề mặt có sự khác biệt so với tổng trung bình của cả nước rõ rệt nhất là ở khu vực miền Bắc với nồng độ cao hơn 2 lần tổng nồng độ trung bình của cả nước.

Nồng độ SO_2 tổng quan của cả nước thường ổn định trong cả năm quan sát, ngoại trừ ở các vùng đồng bằng phía Bắc xung quanh Hà Nội. Các vùng này có đặc trưng địa hình khiến cho chất ô nhiễm khó có thể phân tán ra các vùng xung quanh để giảm thiểu, đồng thời lại khiến cho các chất ô nhiễm từ các vùng khác có thể đến và lưu lại khu vực này rất dễ dàng, ảnh hưởng đến chất lượng không khí. Trong các vùng này cũng tập trung một số lượng lớn các khu công nghiệp và hoạt động giao thông, giao thương [28], là nguồn thải tại chỗ tiềm năng cho loại khí thải này. Bản đồ các khu công nghiệp và nền kinh tế trọng điểm phía Bắc được thể hiện qua hình 6. Mặt khác, các hoạt động công nghiệp và phát thải ở khu vực Trung Quốc có màu đỏ rõ rệt cũng làm ảnh hưởng, gia tăng nồng độ SO_2 tại khu vực miền Bắc nước ta. SO_2 phát thải vào không khí chủ yếu do hoạt động công nghiệp, do sử dụng nguồn nhiên liệu hóa thạch chứa hàm lượng lưu huỳnh lớn. Trung Quốc trong 2 thập kỷ vừa qua được cho là công xưởng của thế giới, ngành công nghiệp sản xuất hàng hóa xuất khẩu chiếm tỷ trọng lớn trong nền kinh tế nước này. Vì vậy, lượng phát thải SO_2 vào không khí được ghi nhận rõ rệt và vào bất kỳ mùa nào qua các năm.



Hình 8. Bản đồ các khu công nghiệp phía Bắc

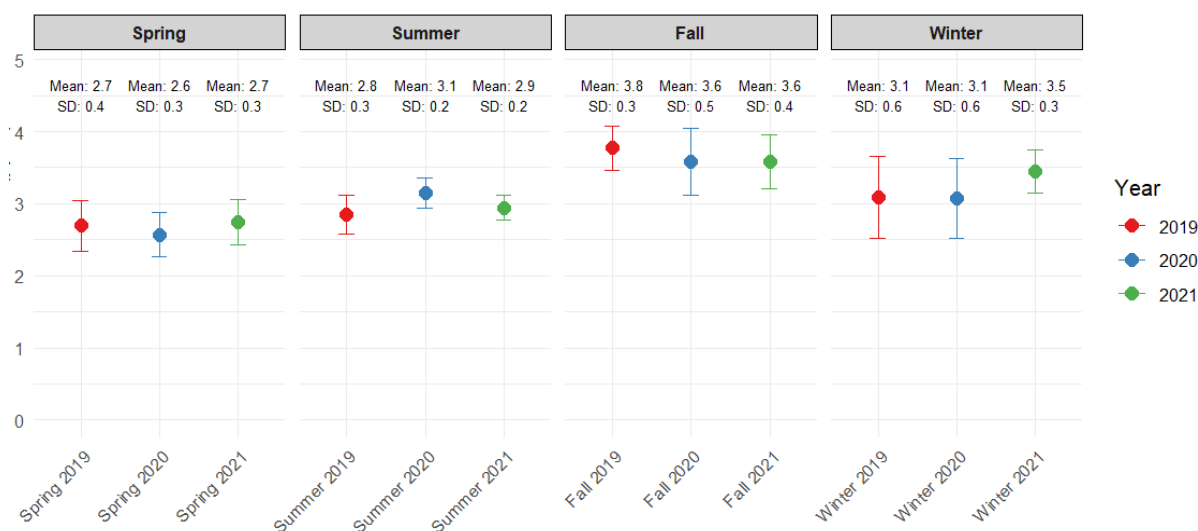
Theo mùa, khu vực phía Bắc có sự phân hóa rõ rệt về nồng độ phát thải tùy theo thời gian, với sự khác biệt rõ rệt nhất vào mùa Đông với các mùa còn lại. Vào mùa Đông, điều kiện thời tiết có xu hướng lạnh đi, khiến cho việc đối lưu để đẩy chất ô nhiễm lên cao bị ảnh hưởng. Ngoài ra, xu hướng tốc độ gió cũng trở nên chậm, khiến cho các chất ô nhiễm bị ứ đọng lại trong khu vực mà không thể thoát ra [29]. Hơn nữa, luồng gió lạnh từ hướng Đông Bắc cũng đem theo chất ô nhiễm từ các khu vực lân cận xuống vùng đồng bằng Bắc Bộ



Hình 9. Nồng độ SO₂ theo mùa ở khu vực đồng bằng sông Hồng

Hình 7 mô tả nồng độ trung bình theo tháng của SO₂ trong khu vực quan sát ở phía Bắc với khung tọa độ [105,20.5;107,22]. Trong thời gian nghiên cứu 2019 - 2021, nồng độ SO₂ ở giao mùa Thu – Đông là có sự tăng lên rõ rệt nhất với trung bình dao động từ 8.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ trong tháng 10 cho đến 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ trong tháng 1 khi có sự thay đổi khí hậu, tạo điều kiện cho hiện tượng ứ đọng ô nhiễm không khí. Ngược lại, vào thời điểm mùa Xuân, Hè là lúc thời tiết ấm dần lên, với điều kiện thuận lợi hơn để có thể giảm thiểu, phân tán chất ô nhiễm nên gây sự suy giảm nồng độ SO₂ này. Tuy vậy, nồng độ SO₂ vẫn dao động xung quanh mức 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cao hơn nồng độ trung bình của cả nước ở mức 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mức nồng độ này là thấp so với khu vực khi so sánh nền màu trên bản đồ.

Trong miền Nam, khu vực nổi bật nhất so với xung quanh khi quan sát bản đồ nồng độ theo thời gian là ở xung quanh thành phố Hồ Chí Minh, cô lập với khung tọa độ [105.5,10;107,11]. Trong khu vực này tập trung nhiều hoạt động công nghiệp ở các tỉnh lân cận với một số lượng lớn khu công nghiệp, phù hợp cho sự phát thải của SO₂. (Hình 8)



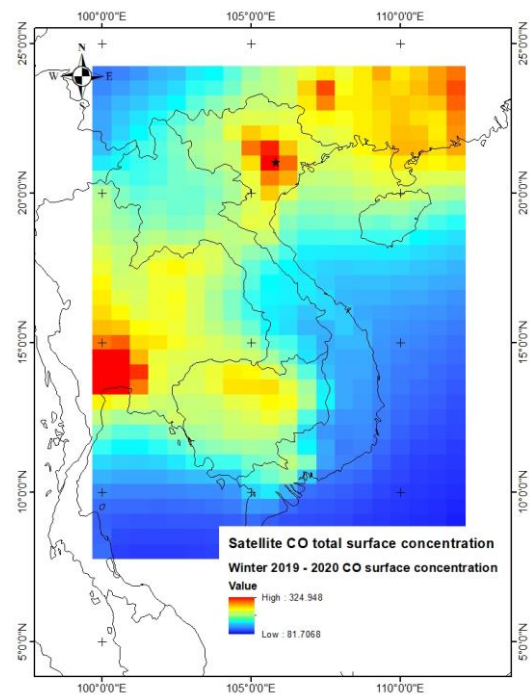
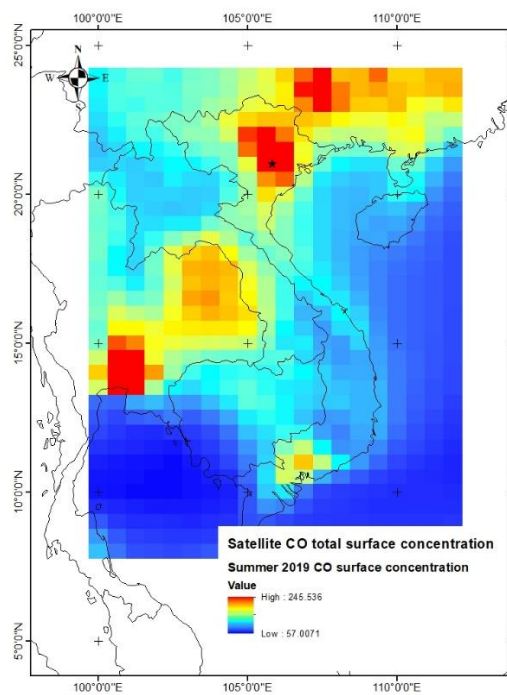
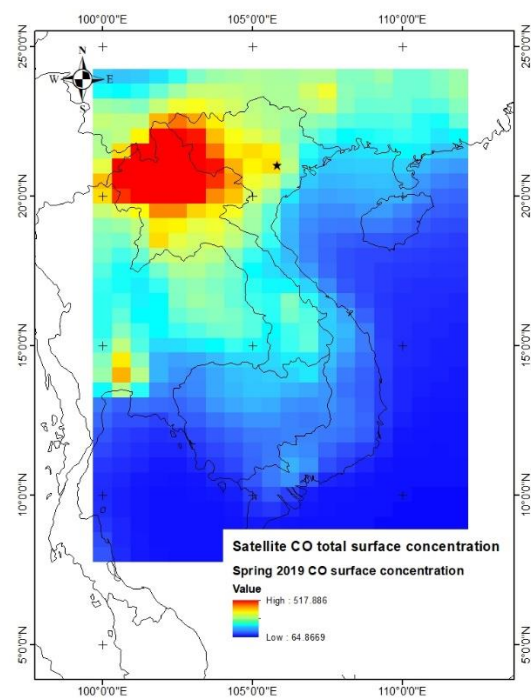
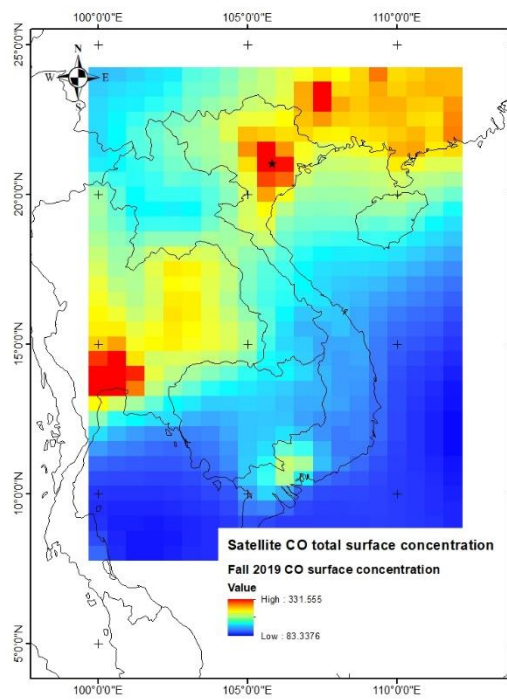
Hình 10. Nồng độ SO_2 theo mùa ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long

Khảo sát cho thấy điều ngược lại, khi nồng độ SO_2 ghi được lại rất đồng nhất trong cả năm 2019 qua các tháng và mùa. Điều này cũng gợi ý nên sự khác biệt của nồng độ chất ô nhiễm trong không khí bị ảnh hưởng do điều kiện địa hình, khi mà khu vực quan sát nằm gọn đồng bằng sông Cửu Long bằng phẳng, thông thoáng các hướng và gần sát với biển, khiến cho việc gió có thể dễ dàng tiếp cận và phân tán các chất ô nhiễm hiệu quả hơn rất nhiều hơn so với vùng đồng bằng Bắc Bộ. Mặc dù phía Nam chia thành 2 mùa mưa và khô nhưng để so sánh với khu vực phía Bắc trong khuôn khổ nghiên cứu này tôi chia thành 4 mùa với cùng thời gian để có so sánh đánh giá sự khác biệt và diễn biến nồng độ các chất ô nhiễm. Trừ mùa lạnh còn lại các mùa trong cả 3 năm SO_2 năm 2021 có hàm lượng thấp hơn so với 2020 và 2019. Mùa Thu thể hiện rõ nhất quá trình giảm giữa 3 năm, mức giảm nồng độ SO_2 cao nhất lên đến 31,2%.

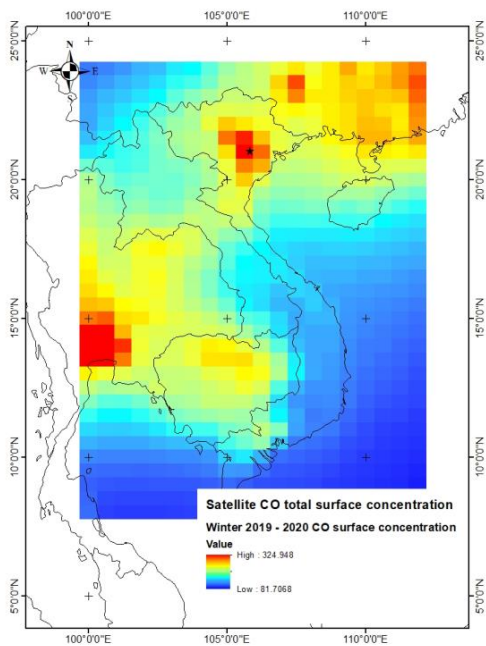
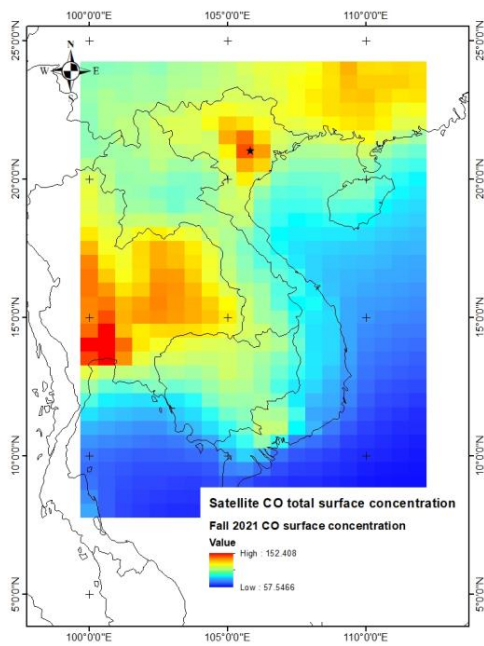
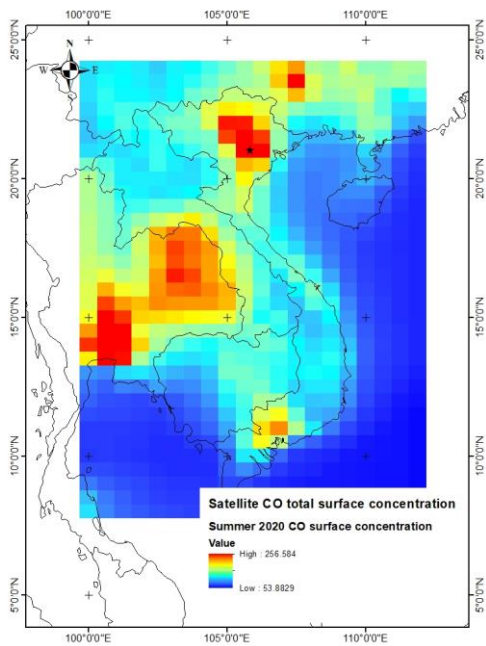
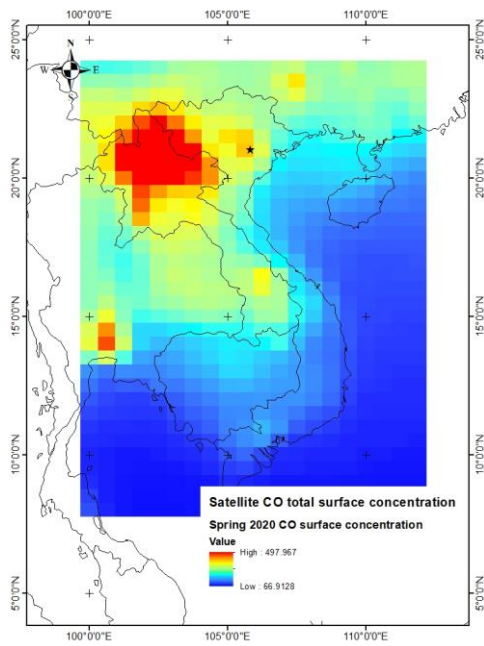
Năm	SO_2	QCVN (mg/Nm^3)
2019	8.23	50
2020	3.42	50
2021	3.1	50

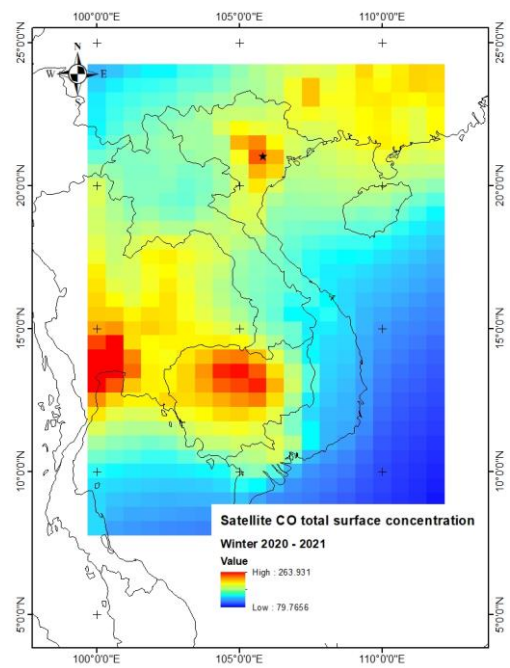
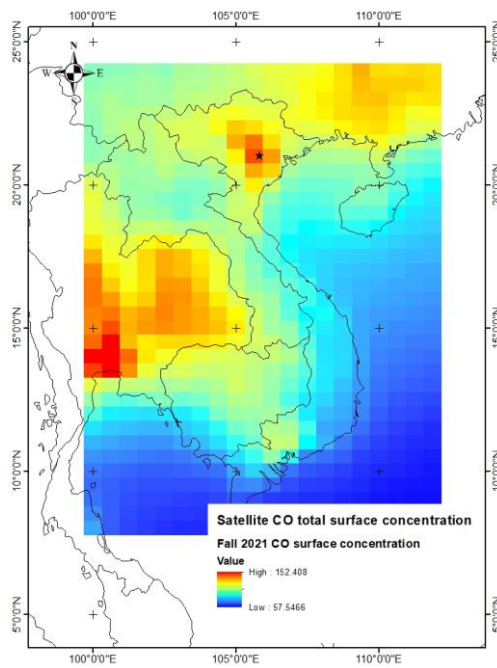
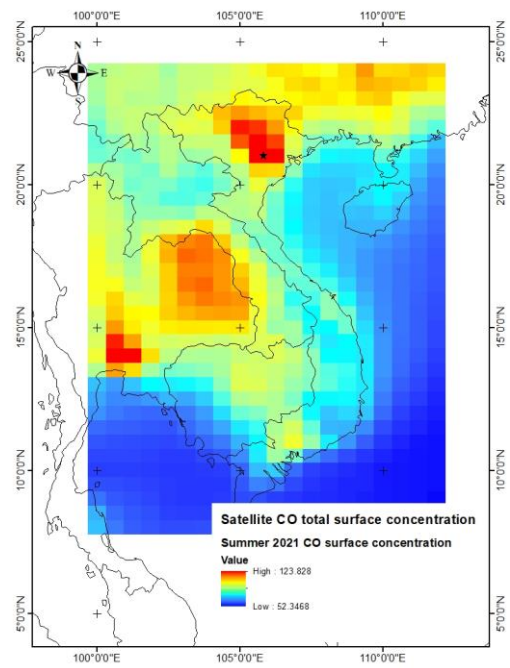
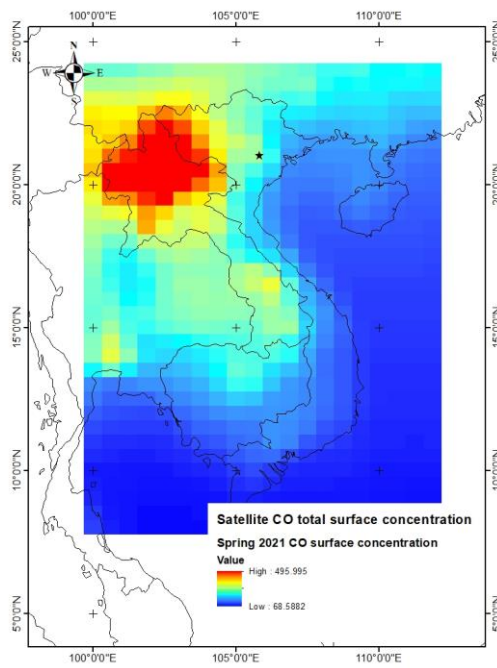
3.2. *Nồng độ CO*

Trong khoảng thời gian quan sát, lượng CO bề mặt trong lãnh thổ Việt Nam được ghi lại với nồng độ trung bình năm là 137 mg/m^3 , thấp hơn nhiều và không đáng lo ngại khi so với tiêu chuẩn nồng độ trung bình trong khoảng 8 giờ của EPA với nồng độ giới hạn ở 8000 mg/m^3 [30]. Theo mùa vào theo thời gian, lượng CO đo được ở bề mặt nổi bật có khu vực tương tự SO_2 , với nồng độ cao hơn các khu, tỉnh còn lại của cả nước. Khu vực miền Bắc với tọa độ $[105,20.5;107,22]$ và miền Nam với khung $[105.5,10,107,11]$.



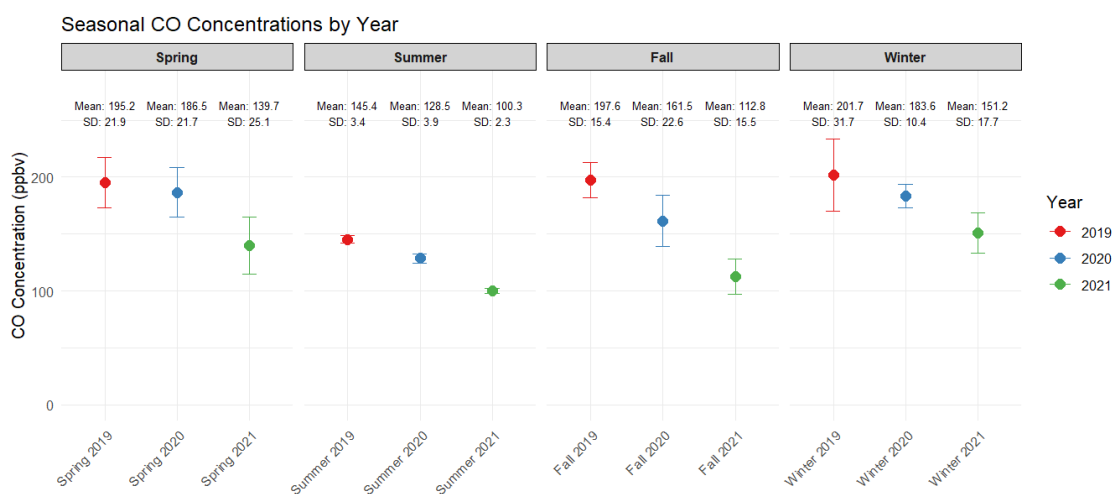
Hình 11. Nồng độ CO theo các mùa từ 2019





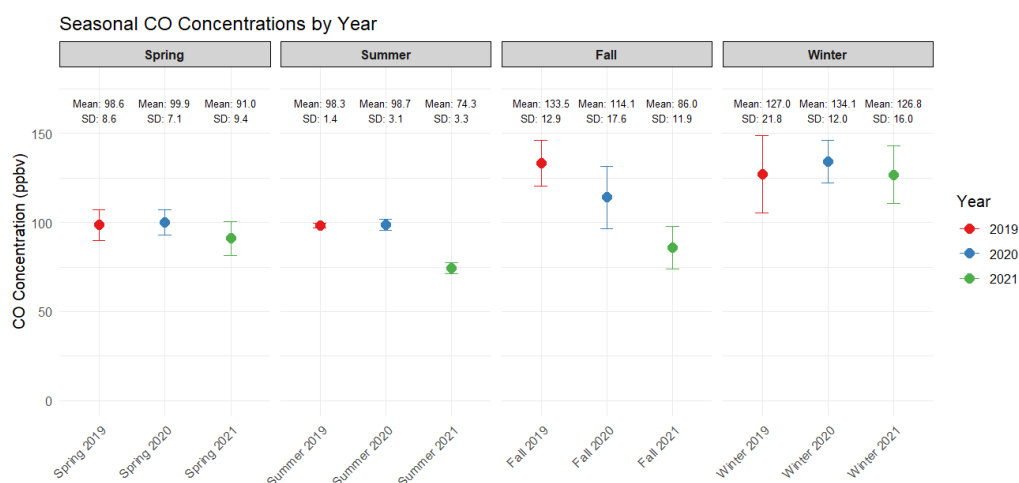
Hình 13. Nồng độ CO theo các mùa từ 2021

CO là loại khí thải được hình thành khi có hiện tượng đốt cháy không hoàn toàn, khiến cho carbon không có đủ oxy để hình thành CO₂ mà phải hình thành CO [31]. Loại khí thải này thường được gắn liền với hiện tượng cháy rừng hay hành động đốt nhiên liệu mang tính thô, trong môi trường đốt mở với một số lượng lớn, ví dụ như hóa vàng vào dịp theo nghi thức tín ngưỡng, đốt than tổ ong hay đốt rơm rạ. Do quá trình đốt không được tối ưu, các nguyên liệu này thường không được đốt hoàn toàn với hiệu quả cao, nguyên nhân chính là do vật liệu đốt được chồng lên nhau gây nên hiện tượng oxy cung cấp cho sự đốt cháy bị thiếu, tạo ra CO.



Hình 14. Nồng độ CO theo tháng ở khu vực đồng bằng sông Hồng

Trong Hình 14, có thể thấy rằng nồng độ CO ở khu vực đồng bằng miền Bắc có sự thay đổi theo mùa trong 3 năm, với nồng độ thấp nhất là 140 mg/m³ vào tháng 8, và cao nhất vào tháng 1, với nồng độ 236 mg/Nm³. Khi được đưa lên đồ thị, hình thái của lượng CO trong không khí theo thời gian theo xu thế cao nhất vào 2 đầu và cuối năm, trong khi hạ thấp nhất vào giữa năm. Đồ thị này có sự tương đồng với đồ thị của nồng độ SO₂ ở miền Bắc như ở trên với nồng độ thấp nhất của SO₂ nằm ở giữa năm trong khi lại cao nhất ở đầu và cuối năm. Trong Nam, với khung tọa độ [105.5,10,107,11], nồng độ CO cũng có xu hướng giống như vậy, khi mà thời điểm nồng độ thấp nhất nằm ở giữa năm, trong khi thời điểm nồng độ cao nhất nằm ở đầu và cuối năm. Với nồng độ CO, vào tất cả các mùa thì năm 2021 nồng độ CO thấp hơn rõ rệt so với năm 2019. Kết quả này phản ánh khi giãn cách xã hội và hoạt động công nghiệp giảm lượng phát thải CO vào không khí giảm đáng kể, mức giảm cao nhất vào mùa thu là 18,3% so với năm 2019.



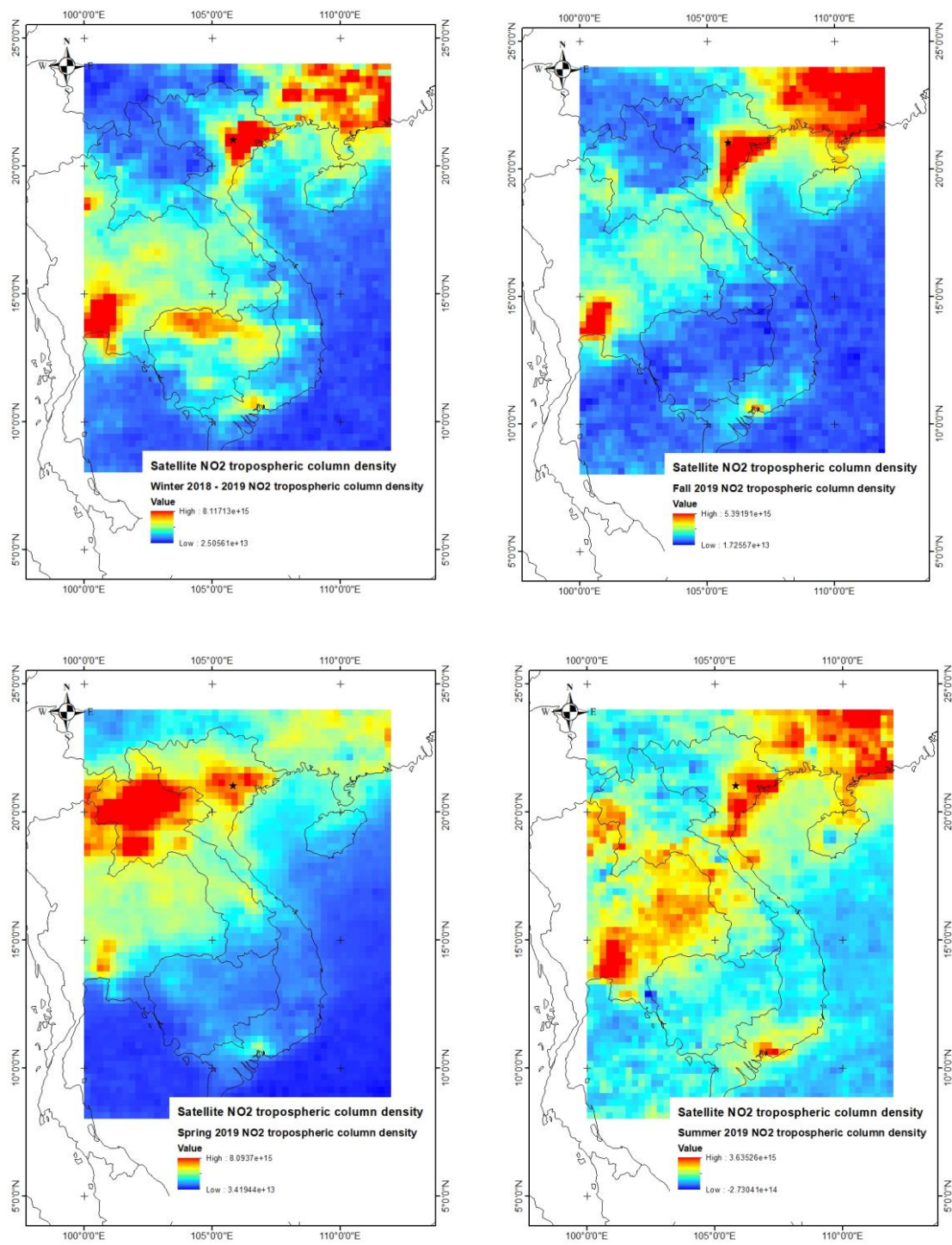
Hình 15: Nồng độ CO theo tháng ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

Tổng hợp số liệu trung bình 8h của các nước thì nồng độ CO thấp hơn rất nhiều so với quy chuẩn Việt Nam

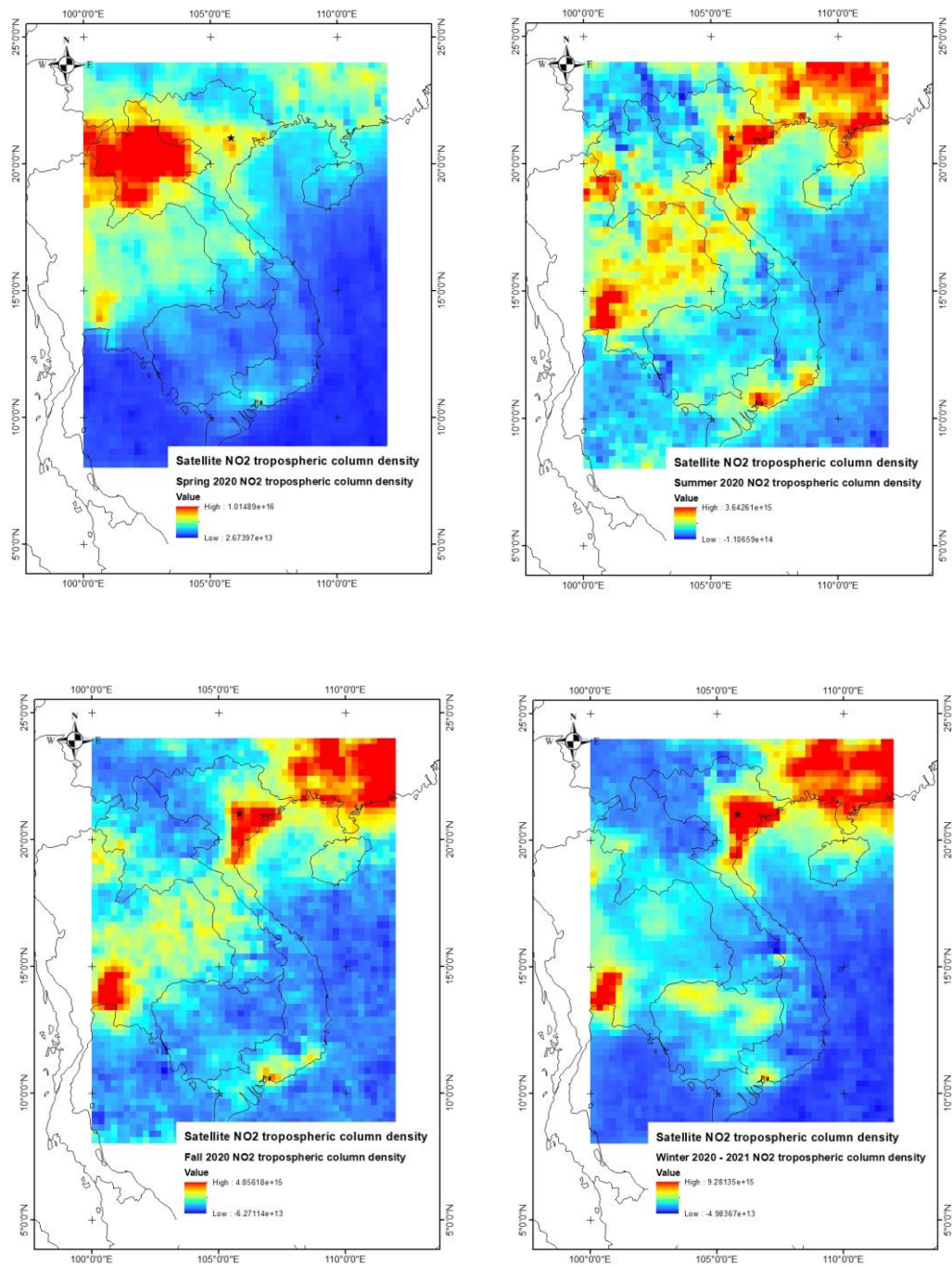
Năm	CO	QCVN (mg/Nm ³)
2019	140	8.000
2020	236	8.000
2021	137	8.000

3.3. Nồng độ NO₂

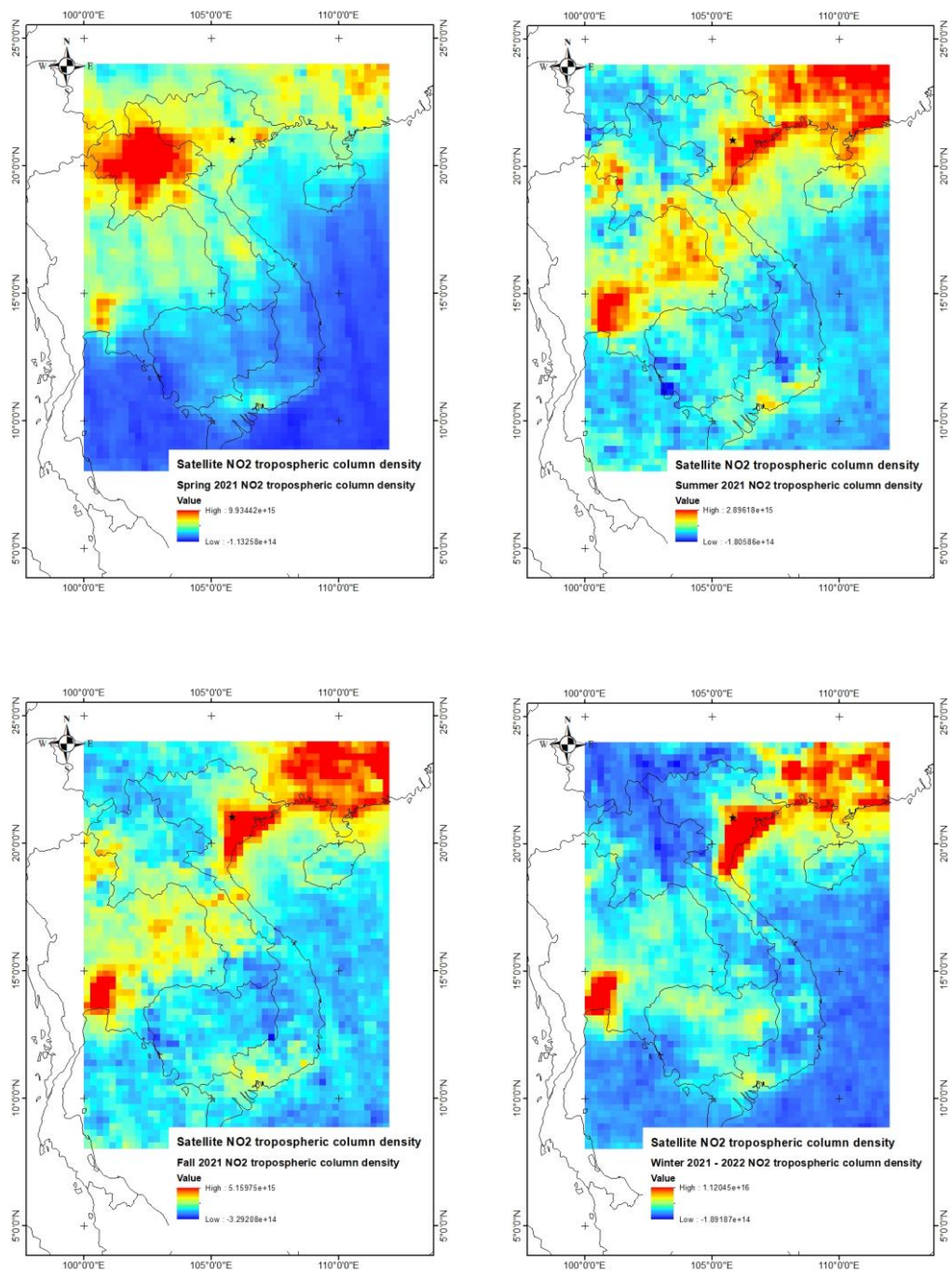
NO₂ được quan sát trong năm 2019 qua dữ liệu vệ tinh được định hình thay vì theo nồng độ trên bề mặt như các chất ô nhiễm trên, thì được định hình theo mật độ chất theo chiều thẳng đứng (vertical column density). Tuy phương thức này không cho ta một cái nhìn trực tiếp trên bề mặt để so sánh với các tiêu chuẩn hiện hữu, nhưng nó cũng có thể đóng vai trò đại diện cho nồng độ các chất ô nhiễm trên mặt đất, như trong các nghiên cứu ở Colombia [32] về việc sử dụng dữ liệu này cùng với dữ liệu quan trắc trực tiếp để có thể định hình tình trạng ô nhiễm trên lãnh thổ của nước này.



Hình 16: Nồng độ cột NO₂ trung bình 2019

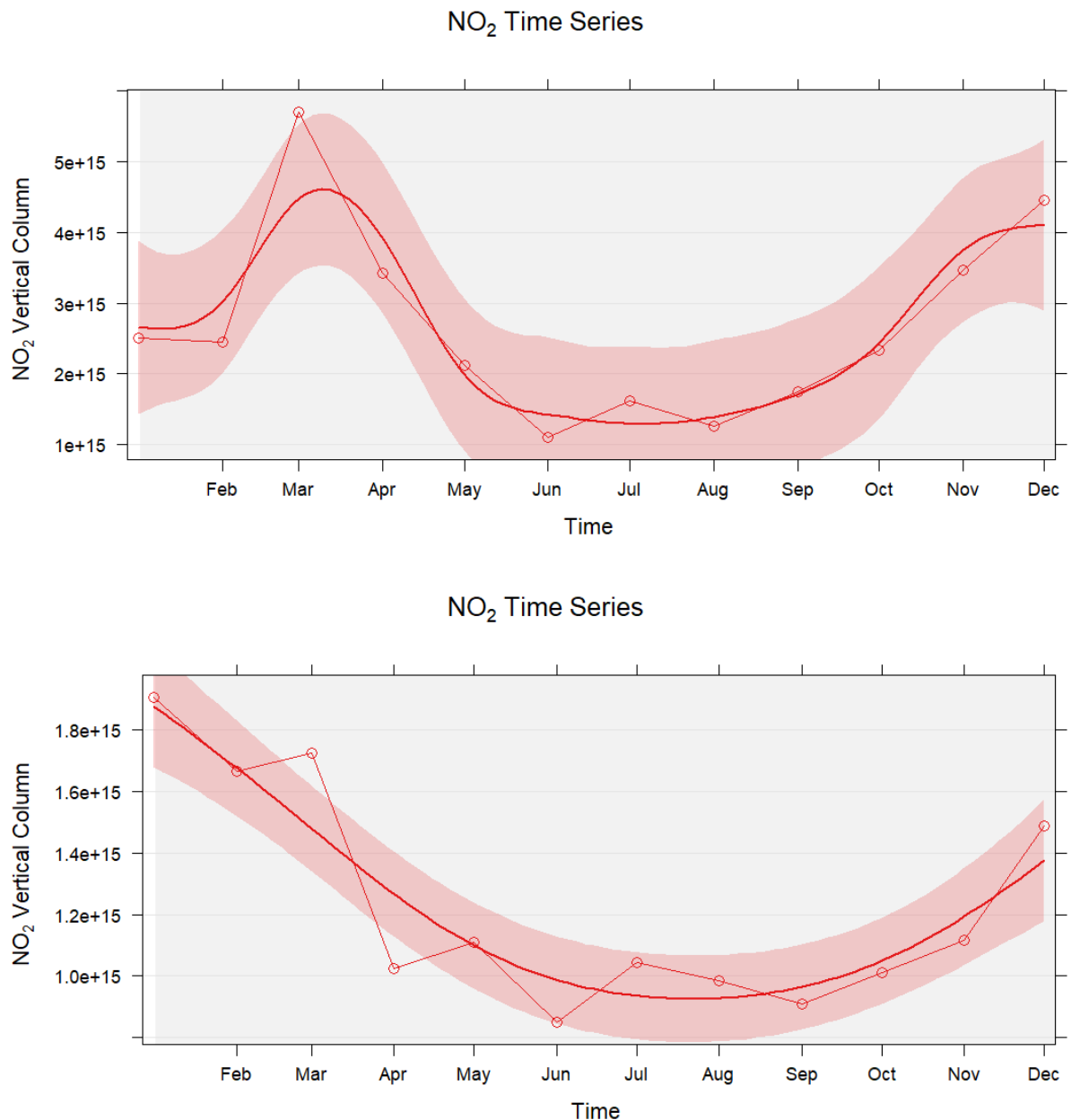


Hình 17: Nồng độ cột NO₂ trung bình 2020

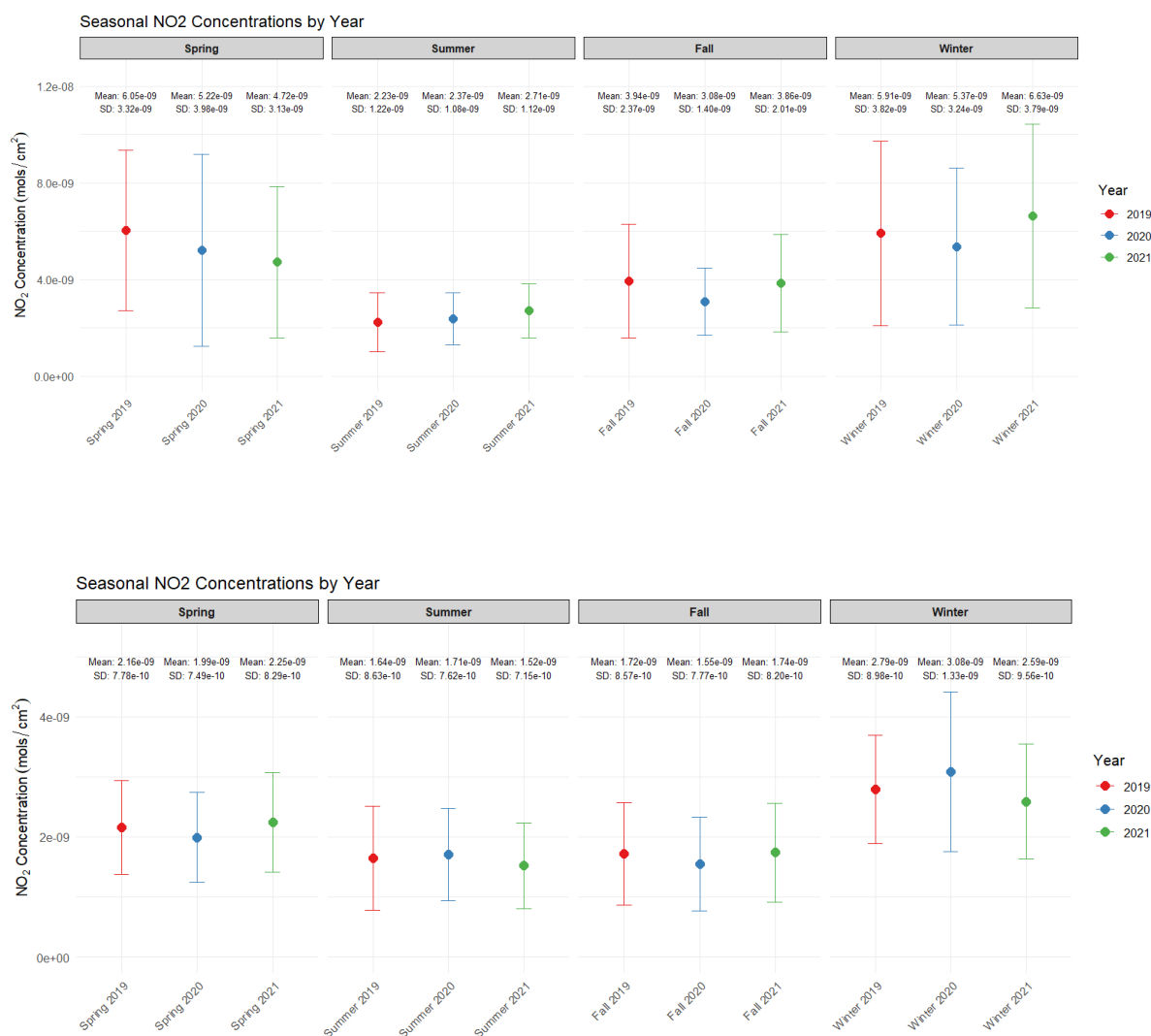


Hình 18: Nồng độ cột NO₂ trung bình 2021

Dựa vào hình trên có thể thấy rằng tương tự các khí khác, vẫn có 2 vùng nổi bật ở cả miền Bắc và Nam xung quanh 2 thành phố lớn Hà Nội và Hồ Chí Minh. Cụ thể, mật độ NO_2 cột trong lãnh thổ của Việt Nam có giá trị trung bình theo ngày là $1.29592\text{e}+15$ (phân tử/ cm^2) trong khi nồng độ trung bình 24h của khu vực miền Bắc là $2.537049\text{e}+15$ (phân tử/ cm^2), và khu vực của miền Nam có nồng độ trung bình 24h của cả năm là $1.22\text{e}+15$ (phân tử/ cm^2), tương đương thậm chí thấp hơn một chút so với nồng độ trung bình chung của cả nước.



Hình 19: Nồng độ cột NO_2 theo tháng ở khu vực đồng bằng sông Hồng (trên) và đồng bằng sông Cửu Long (dưới)



Hình 20: Nồng độ NO_2 theo mùa ở khu vực đồng bằng sông Hồng (hình trên) và đồng bằng sông Cửu Long (hình dưới)

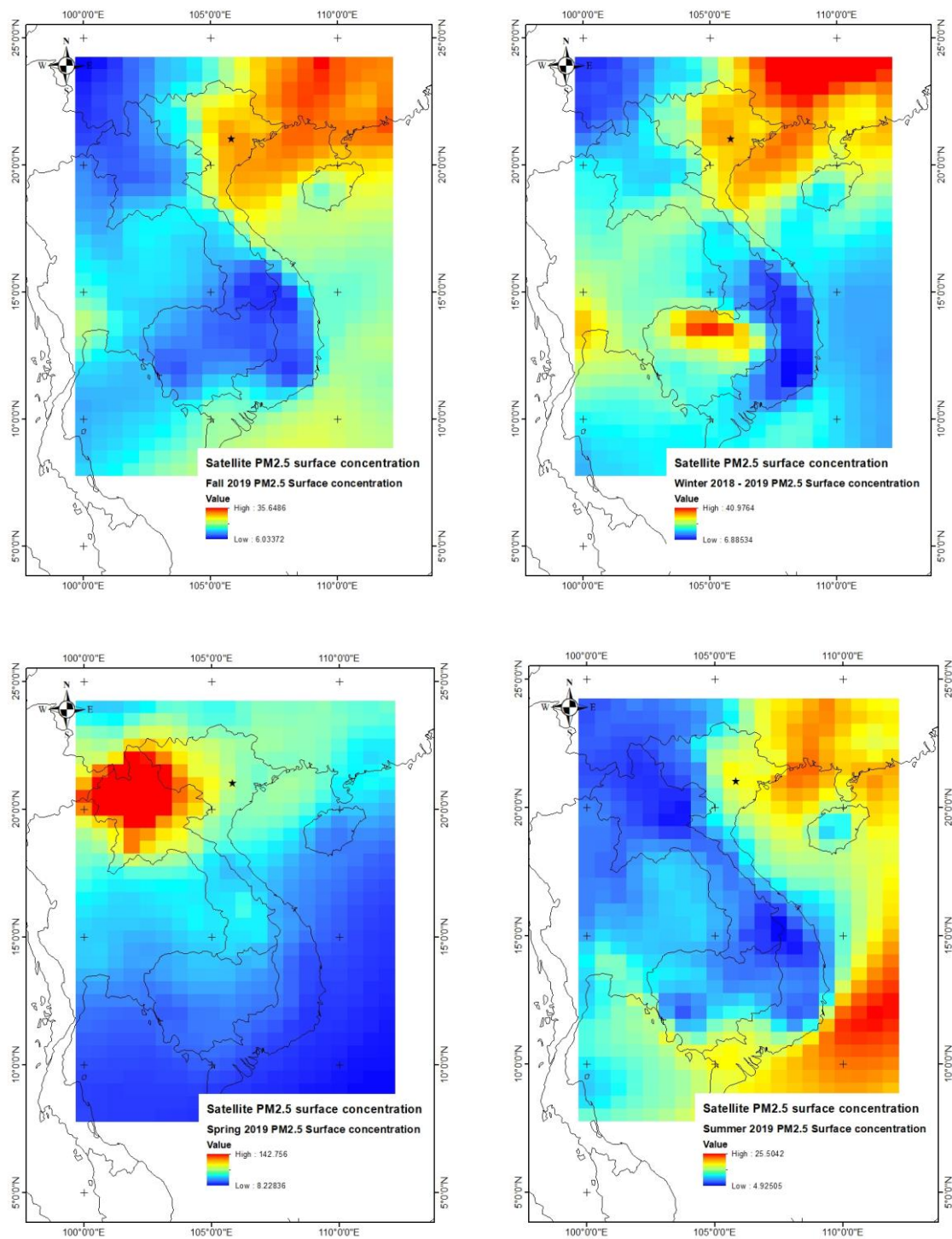
Trong hình 19, hình thái của đồ thị nồng độ cột NO_2 có xu hướng tăng và giảm tương tự các chất ô nhiễm trên, với sự tăng nồng độ lên cao vào đầu và cuối năm. Ở miền Bắc, vào tháng 3 và tháng 4, có một tăng đột ngột của nồng độ cột so với các tháng khác trong năm là do thời điểm này có mưa xuân, nồm ẩm, lượng tia uv trong không khí thấp dẫn đến phản ứng quang hóa trong không khí kém làm gia tăng hàm lượng trung bình NO_2 . Khi càng về giữa năm, nồng độ chất ô nhiễm sẽ có xu hướng giảm xuống, vào mùa hè hiện tượng quang hóa xảy ra mạnh, các gốc OH° phân hủy tiền chất ô nhiễm Nox và VOCs tạo ra O_3 , nên khi nồng độ NO_2 giảm thì nồng độ O_3 sẽ tăng lên, các phương trình từ 1-3 cũng đã giải thích cho điều này. Quan sát bản đồ nồng độ cột theo

thời gian cho thấy rằng vào tháng 3, gần khu vực miền Bắc ở bên Lào cũng có sự tăng đột biến về nồng độ cột NO_2 nhưng cao hơn nhiều so với nồng độ trung bình chung của miền Bắc với nồng độ trung bình cao nhất là 1.91156×10^{16} (phân tử/ cm^2). Nguyên nhân là do vào hàng năm, bao gồm cả năm 2019, miền Bắc nước Lào ghi nhận nhiều vụ cháy rừng [33, 34], gây ra hiện tượng tăng nồng độ chất ô nhiễm bất thường vào mùa xuân trong khoảng tháng 3 và tháng 4, từ đó các chất ô nhiễm có thể đi theo luồng gió và ảnh hưởng đến vùng đồng bằng Bắc Bộ. Hiện tượng này cũng có thể thấy rõ ràng ở các loại khí thải khác đã biểu thị ở trên như SO_2 với cùng khoảng thời gian trong vòng tháng 3 và tháng 4. Trong miền Nam không có hiện tượng này, lượng NO_2 theo nồng độ cột có xu hướng giảm vào mùa Mưa kéo dài từ tháng 5 – 11 và ngược lại vào mùa Khô trong khoảng từ tháng 12 – 4 của năm.

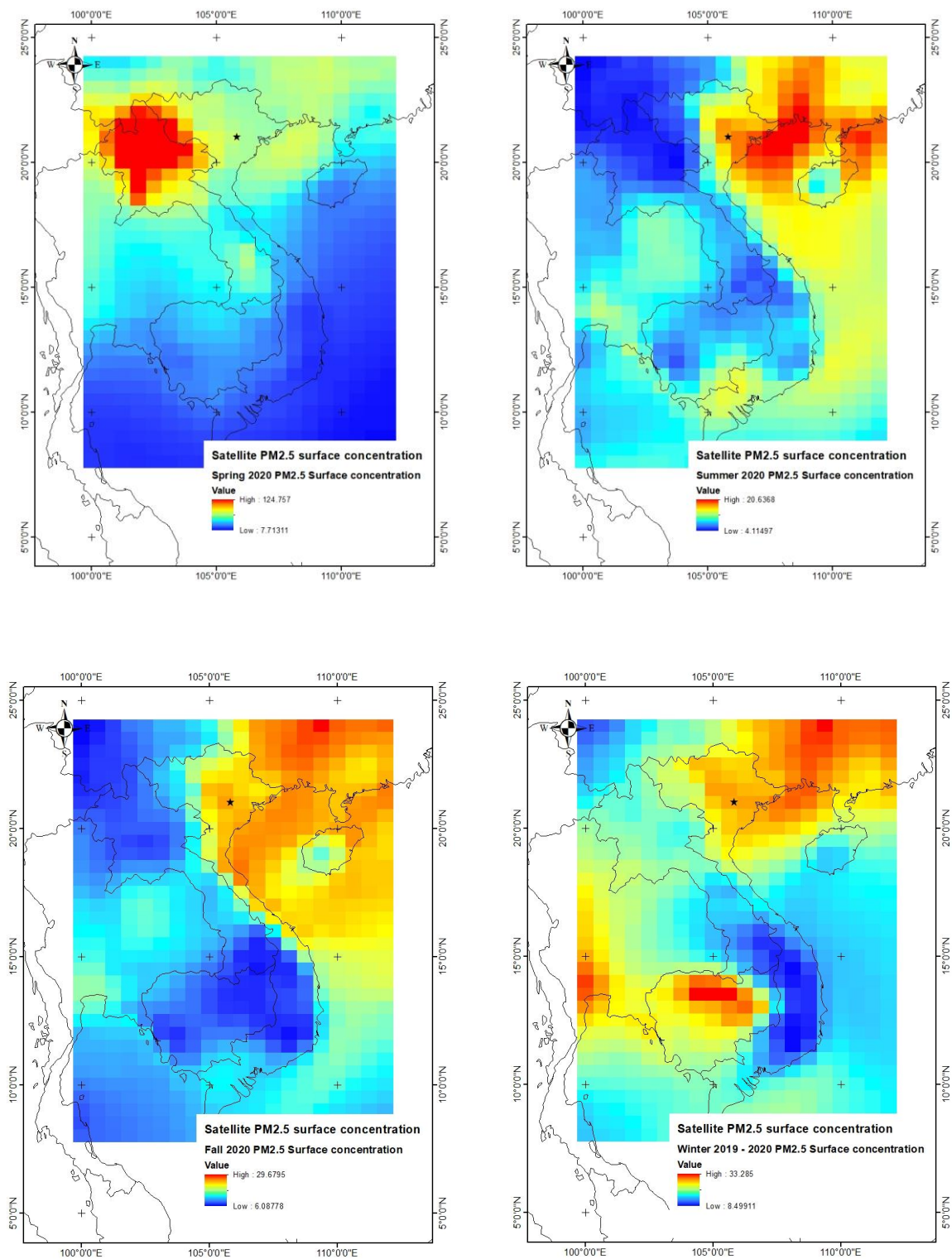
Hình 20 cho thấy NO_2 không có xu hướng giảm rõ rệt, điều này cũng đã bàn luận ở phần trên do điều kiện thời tiết đặc thù, cùng với tác động từ khu vực và Quốc gia lân cận ảnh hưởng và biến động mạnh hơn so với ảnh hưởng của việc giãn cách xã hội.

3.4. Bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$

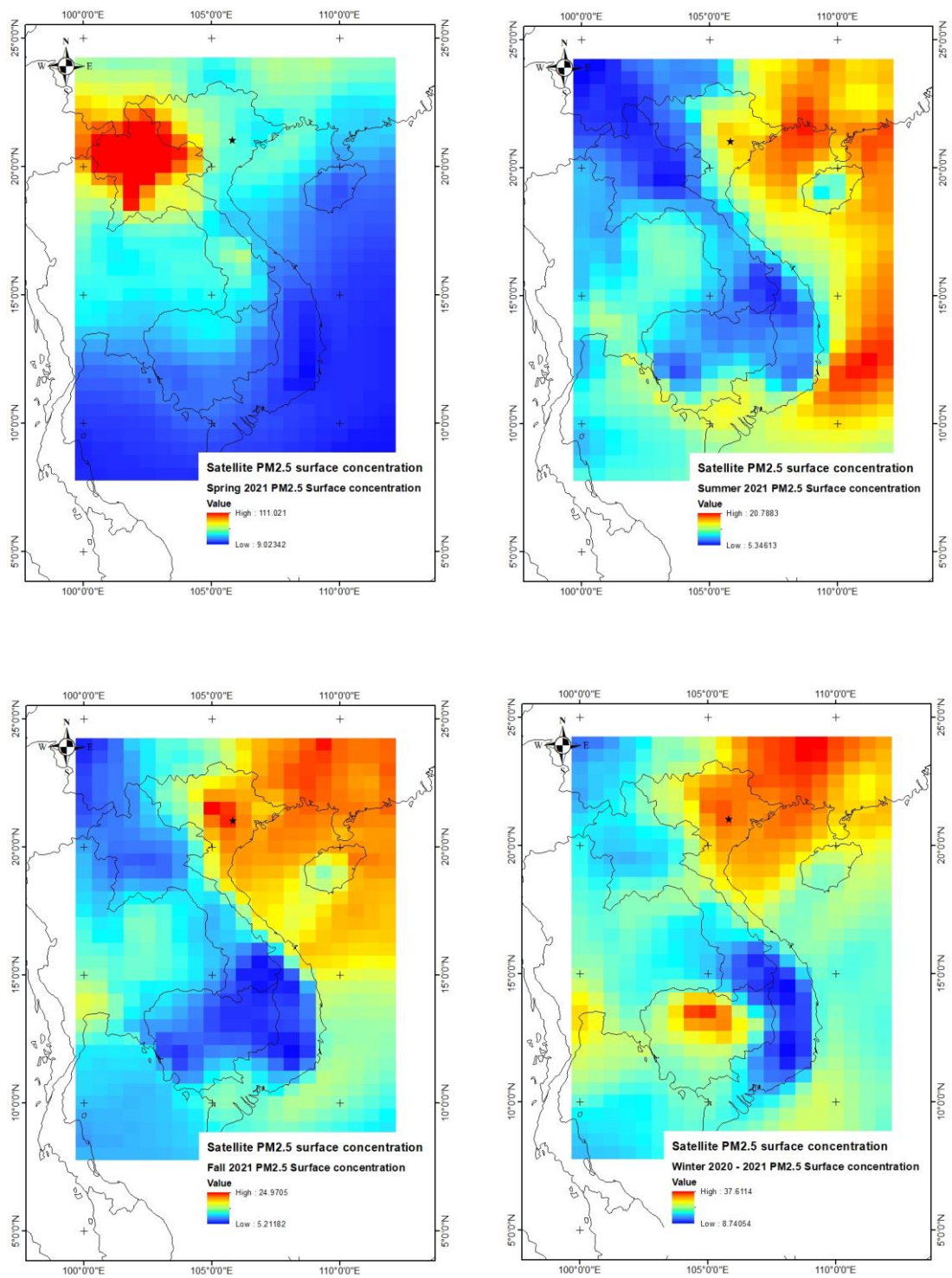
Bụi mịn $\text{PM}_{2.5}$ ghi nhận được trung bình trong lãnh thổ Việt Nam vào năm 2019, 2020 và 2021 lần lượt là 20.15, 19,94 và 19.68 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), cũng tương tự các loại chất gây ô nhiễm trên, khu vực có nồng độ cao nhất là ở miền Bắc, tập trung vào khu vực đồng bằng Bắc Bộ, sông Hồng với nồng độ trung bình năm trong khung [105,20.5;107,22] ở ngưỡng 29.4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), cao hơn tiêu chuẩn môi trường không khí xung quanh QCVN 05:2023/BTNMT là 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [35]. Khu vực phía Nam, ngược lại ghi nhận được nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ thấp hơn đáng kể với nồng độ trung bình năm chỉ ở ngưỡng 16.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Hình 21: Nồng độ cột PM2.5 trung bình 2019

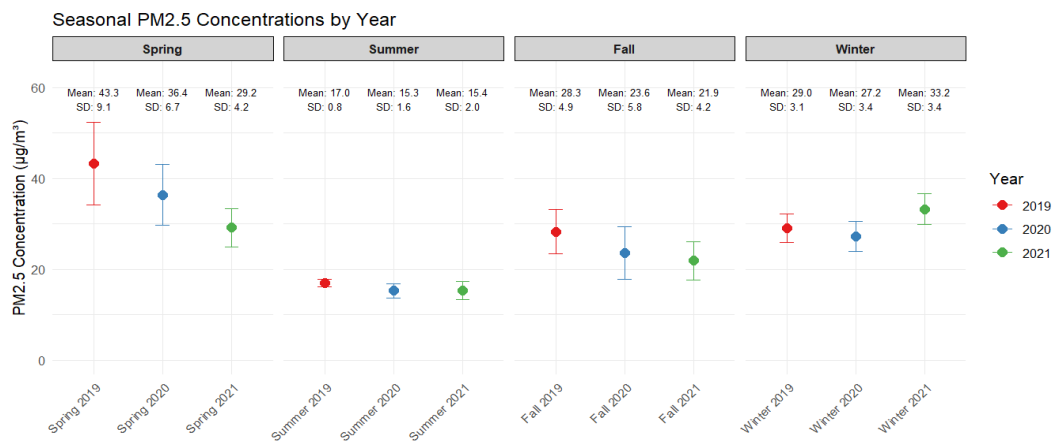


Hình 22: Nồng độ cột PM2.5 trung bình 2020



Hình 23: Nồng độ cột PM2.5 trung bình 2021

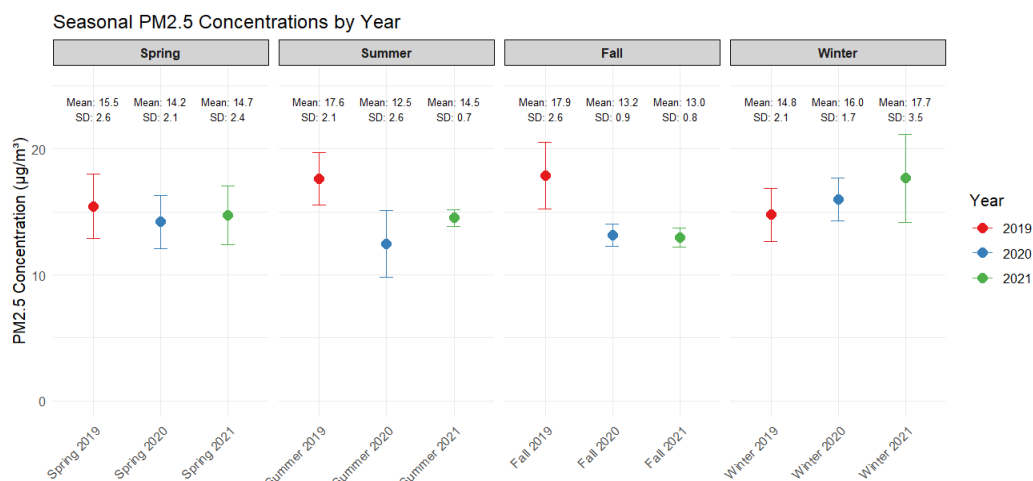
Quan sát theo mùa ở hình trên, phân chia theo khu vực nổi bật cho thấy lượng $PM_{2.5}$ ở khu vực miền Bắc cũng tuân theo dao động mùa như các chất ô nhiễm khác, với xu hướng giảm dần khi về giữa năm vào mùa Hè và ngược lại ở đầu và cuối năm vào mùa Đông. Cũng như các nguồn chất ô nhiễm khác, vào trong khoảng tháng 3 và tháng 4 vào mùa Xuân có sự tăng đột biến của nồng độ $PM_{2.5}$, lên đến $53 (\mu g/m^3)$. Nguyên nhân vì hiện tượng cháy rừng trong khoảng thời gian này, và bụi đi theo con đường gió thổi từ miền Bắc Trung Quốc sang lãnh thổ Việt Nam, và ứ đọng lại ở khu vực đồng bằng sông Hồng. Mặt khác mùa này theo các nhà khoa học, hiện tượng nghịch nhiệt thường xuyên xảy ra, tức là lớp khí quyển ở dưới mặt đất lạnh hơn ở trên làm cho không khí không lưu thông được làm gia tăng nồng độ các chất ô nhiễm, đặc biệt là bụi mịn $PM_{2.5}$, hiện tượng này đã được mô tả trong các nghiên cứu trước đây [36, 37].



Hình 24. Nồng độ bề mặt $PM_{2.5}$ theo tháng tại khu vực đồng bằng sông Hồng

Trong miền Nam, khu vực tọa độ $[105.5, 10, 107.1, 11.2]$ được ghi lại với nồng độ trung bình trong năm là $16.4 (\mu g/m^3)$, thấp hơn nhiều so với quy chuẩn không khí xung quanh của Việt Nam QCVN05:2023/BTNMT nhưng vẫn cao hơn giới hạn của WHO về tiêu chuẩn bụi mịn trong không khí ($5 \mu g/m^3$) [35] và cần được cải thiện. Trong năm 2019, theo tháng, lượng bụi mịn của khu vực này tương đối ổn định, dao động từ $12.7 - 20.7 (\mu g/m^3)$ và có xu hướng ngược lại so với các xu hướng của khí thải đã thấy là nồng độ cao hơn vào trong khoảng giữa năm vào mùa Mưa so với mùa Khô. Vì vậy, kiểm tra lại dữ liệu vệ tinh bằng dữ liệu quan trắc trực tiếp là cần thiết để xác minh độ chuẩn xác của dữ liệu do dữ liệu vệ tinh chỉ là để xác định tương đối, cho một cái nhìn chung, tổng quan về khu vực.

Trừ mùa đông ở phía Bắc, và mùa khô ở phía Nam còn các mùa khác trong năm hàm lượng bụi mịn năm 2021 giảm so với năm 2019. Mức giảm cao nhất vào mùa Xuân ở phía Bắc lên đến 35,6%, nhưng ngược lại mùa Đông nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$ cao hơn, điều này phản ánh mức độ đốt rơm rạ sau thu hoạch và đốt mở vào đầu mùa đông đã làm gia tăng nồng độ bụi mịn. Nhưng năm gần đây khi vào đầu mùa đông khu vực phía Bắc đặc biệt là Hà Nội luôn bị đánh giá là một trong những thành phố có chỉ số chất lượng không khí AQI cao nhất trên thế giới.



Hình 25. Nồng độ bề mặt $PM_{2.5}$ theo tháng tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long

Theo số liệu thu thập được, ta có bảng so sánh nồng độ trung bình /năm của $PM_{2.5}$ với quy chuẩn Việt Nam, về cơ bản

Năm	PM2.5	QCVN
2019	20.15	25
2020	19,94	25
2021	19.68	25

3.5. Môi liên hệ giữa các chất ô nhiễm trong không khí

Trong các chất ô nhiễm có thể được quan sát và định lượng tương đối bởi phân tích dữ liệu vệ tinh, sau đây là bảng biểu thị sự tương quan hay giữa các chất ô nhiễm với nhau thông qua kiểm tra liên hệ giữa các chuỗi dữ liệu lớn trong thời gian nghiên cứu và lấy dữ liệu 3 năm:

Bảng 3.1 Mối tương quan chất ô nhiễm ở khu vực đồng bằng sông Hồng

	SO₂	CO	NO₂	PM_{2.5}
SO₂	-	0.64	0.68	0.66
CO	0.64	-	0.69	0.265
NO₂	0.68	0.69	-	0.11
PM_{2.5}	0.66	0.265	0.11	-

Phân tích về sự tương quan giữa các chất ô nhiễm ở khu vực phía Bắc Việt Nam, đặc biệt là trong Đồng bằng sông Hồng, cho thấy những mối quan hệ rõ rệt giữa các chất ô nhiễm khí như SO₂, CO, NO₂, và PM_{2.5}. Cụ thể:

Tương quan giữa SO₂ và các chất ô nhiễm khác:

SO₂ có mối quan hệ chặt chẽ với các chất ô nhiễm khác, với CO (0,6386), NO₂ (0,6874) và PM_{2.5} (0,6596). Những mối quan hệ dương này cho thấy các chất ô nhiễm này có thể có nguồn gốc chung hoặc bị ảnh hưởng bởi các điều kiện khí quyển tương tự. Điều này có thể chỉ ra rằng nguồn phát thải từ các hoạt động công nghiệp hoặc việc đốt nhiên liệu hóa thạch có thể là nguyên nhân chung cho sự xuất hiện của các chất ô nhiễm này trong không khí.

Tương quan giữa CO và NO₂:

Mối tương quan giữa CO và NO₂ (0,6896) là rất mạnh, cho thấy sự đóng góp đáng kể của các nguồn đốt cháy (chẳng hạn như phương tiện giao thông và các cơ sở công nghiệp) trong việc tạo ra cả hai loại khí này. Sự tương quan mạnh này cũng cho thấy sự đồng xuất hiện của CO và NO₂ trong không khí CO sinh ra khi đốt cháy không hoàn toàn còn NO₂ sinh ra bởi nhiệt làm Nito trong không khí phản ứng với O₂ tạo ra NO₂ và NO. Nên các khu vực hoạt động công nghiệp, đốt rơm rạ và đốt mở nhiều sẽ ghi nhận nồng độ CO và NO_x cao.

+ Tương quan yếu giữa CO, NO₂ và PM_{2.5}:

Mặc dù CO và NO₂ có mối quan hệ mạnh với nhau và với SO₂, nhưng chúng lại có mối tương quan yếu với PM_{2.5}. CO chỉ có mối tương quan 0,2651 với PM_{2.5}, trong khi NO₂ có mối tương quan rất yếu (0,1124) với PM_{2.5}. Điều này chỉ ra rằng CO và NO₂, mặc dù là các chất ô nhiễm quan trọng, không phải là các yếu tố chính đóng góp vào mức PM_{2.5} ở khu vực này. Điều này có thể phản ánh sự khác biệt trong các nguồn phát thải của PM_{2.5}, ví dụ như từ hoạt động xây dựng, hoặc bụi đường, mà không liên quan trực tiếp đến CO và NO₂. Mặt khác NO₂ và CO tham gia và bị mất đi trong quá trình tham gia vào phản ứng quang hóa, PM_{2.5} dễ ô nhiễm từ khu vực khác (xuyên biên giới) nhiều hơn là NO₂ và CO, hay nói cách khác PM_{2.5} có thời gian tồn tại trong không khí lâu hơn NO₂ và CO.

Ở khu vực phía Bắc Việt Nam, đặc biệt là Đồng bằng sông Hồng, có thể thấy một mối liên kết mạnh mẽ giữa SO₂, CO, NO₂ và PM_{2.5}, với SO₂ có mối tương quan đáng kể với các chất ô nhiễm khác, cho thấy các chất này có thể có nguồn gốc hoặc các chu trình vòng tuần hoàn khí quyển chung. Tuy nhiên, sự tương quan yếu giữa CO, NO₂ và PM_{2.5} chỉ ra rằng các nguồn phát thải của PM_{2.5} có thể khác biệt, và không phải tất cả các chất ô nhiễm đều đóng góp trực tiếp vào sự gia tăng của PM_{2.5} trong khu vực

Bảng 3.2 Mối tương quan chất ô nhiễm ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long

	SO₂	CO	NO₂	PM_{2.5}
SO₂	-	0.278	0.197	0.826
CO	0.278	-	0.69	-0.247
NO₂	0.197	-0.408	-	0.269
PM_{2.5}	0.826	-0.247	0.269	-

Khu vực phía Nam Việt Nam, đặc biệt là Đồng bằng sông Cửu Long, cho thấy một bức tranh ô nhiễm không khí phức tạp hơn so với khu vực phía Bắc (Đồng bằng sông Hồng). Các mối tương quan giữa các chất ô nhiễm tại khu vực này có những đặc điểm đặc biệt, phản ánh sự khác biệt trong nguồn gốc và chu trình khí quyển của các chất ô nhiễm.

Các đặc điểm nổi bật trong mối tương quan ô nhiễm ở khu vực phía Nam:

Mối tương quan mạnh giữa NO_2 và $\text{PM}_{2.5}$:

Tại khu vực phía Nam, mối tương quan mạnh giữa NO_2 và $\text{PM}_{2.5}$ (0,8258) là đặc điểm đáng chú ý. Mối liên kết này thậm chí còn mạnh hơn ở phía Bắc, và có thể chỉ ra rằng NO_2 đóng góp mạnh vào mức gia tăng nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trong khu vực này. Cụ thể, các hạt muối Amonia có thể đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành và gia tăng mức $\text{PM}_{2.5}$.

SO_2 và các chất ô nhiễm khác:

SO_2 có mối tương quan dương yếu hơn so với các chất ô nhiễm khác. Mối tương quan của SO_2 với CO là 0,2785 và với NO_2 là 0,1970, cho thấy rằng SO_2 không có sự tương tác mạnh mẽ với các chất ô nhiễm khác ở khu vực phía Nam như ở phía Bắc. Điều này có thể phản ánh sự phân bố nguồn phát thải khác biệt giữa các chất ô nhiễm này ở phía Nam.

Mối tương quan âm giữa CO và các chất ô nhiễm khác:

Một điểm đáng chú ý là CO ở khu vực phía Nam thể hiện mối tương quan âm với cả NO_2 (-0,4086) và $\text{PM}_{2.5}$ (-0,2474). Điều này trái ngược hoàn toàn với mối quan hệ dương giữa CO và các chất ô nhiễm khác ở khu vực phía Bắc. Mối tương quan âm này có thể chỉ ra rằng sự gia tăng của một chất ô nhiễm như CO có thể đồng thời đi kèm với sự giảm của các chất ô nhiễm khác, hoặc do ảnh hưởng của các nguồn phát thải và điều kiện khí quyển khác biệt.

Các yếu tố khu vực ảnh hưởng đến sự khác biệt trong tương quan:

Các chênh lệch trong mối tương quan giữa các chất ô nhiễm ở hai khu vực có thể phản ánh các yếu tố đặc thù của từng vùng, bao gồm:

Nguồn phát thải khác nhau: Mật độ các hoạt động công nghiệp, giao thông và các nguồn phát thải sinh học (như đốt rơm rạ) có thể khác biệt giữa Bắc và Nam, dẫn đến sự tương tác khác nhau giữa các chất ô nhiễm.

Điều kiện khí quyển và địa lý: Những yếu tố như gió, độ ẩm, địa hình và sự gần gũi với biển có thể ảnh hưởng đến cách các chất ô nhiễm được phân tán hoặc tích tụ. Ví dụ, Đồng bằng sông Hồng với địa hình có độ cao lớn hơn có thể có điều kiện khí quyển

khác biệt so với Đồng bằng sông Cửu Long, nơi ảnh hưởng của gió biển và điều kiện đồng bằng có thể làm thay đổi sự phân phối chất ô nhiễm.

Hoạt động đô thị và mật độ dân số: Sự phát triển đô thị và mật độ dân số ở các khu vực này cũng đóng vai trò quan trọng trong việc xác định mức độ ô nhiễm và sự tương tác giữa các chất ô nhiễm. Các khu vực có mật độ giao thông cao, các khu công nghiệp và các hoạt động nông nghiệp có thể có ảnh hưởng lớn đến các chất ô nhiễm khác nhau.

Các sự khác biệt trong mối tương quan chất ô nhiễm giữa khu vực phía Bắc và phía Nam Việt Nam cho thấy rằng mỗi khu vực có các đặc điểm ô nhiễm không khí riêng biệt. Ở phía Bắc, các chất ô nhiễm có mối quan hệ mạnh mẽ với nhau, phản ánh nguồn phát thải đồng nhất hơn và điều kiện khí quyển thuận lợi cho sự có mặt của chúng. Ngược lại, khu vực phía Nam thể hiện một sự tương tác phức tạp hơn giữa các chất ô nhiễm, bao gồm cả mối quan hệ âm giữa CO và các chất ô nhiễm khác. Điều này nhấn mạnh sự cần thiết phải có các chiến lược quản lý chất lượng không khí khác nhau cho từng khu vực, vì mỗi khu vực có các nguồn và đặc điểm ô nhiễm riêng biệt. Điều kiện thời tiết, vận tốc gió mạnh hơn, hướng gió từ ngoài biển khu vực ít ô nhiễm, mùa mưa kéo dài và thường xuyên các ngày trong tháng làm giảm đáng kể chất ô nhiễm ở phía Nam so với phía Bắc, mặc dù các khu công nghiệp ở phía Nam cũng tăng trưởng mạnh theo từng năm.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận:

Bảng dữ liệu vệ tinh thu thập được trong 3 năm từ 2019-2021 theo thời gian thực liên tục từng giờ, các chất ô nhiễm cơ bản CO, SO₂, NO₂ và bụi mịn PM_{2.5} đã được thu thập phân tích đánh giá:

- Các chất ô nhiễm cơ bản trong môi trường không khí ở Việt Nam ở mức trung bình so với thế giới và chưa vượt quá QCVN do Việt Nam quy định ở mức trung bình 1 giờ theo QCVN 05:2023 của Bộ TNMT.
- Bụi mịn trong đó PM_{2.5} có mức ô nhiễm cao so với các nước trong khu vực và một số vùng đặc biệt là phía Bắc có nồng độ trung bình cao nhất cả nước. Có nhiều thời điểm vượt mức ô nhiễm quy định bởi WHO và Việt Nam.
- Từ dữ liệu 3 năm nghiên cứu cho thấy thời điểm giãn cách xã hội do Covid, các hoạt động giảm thải rõ rệt điều này dẫn đến các chất ô nhiễm có xung hướng giảm đặc biệt là SO₂, CO và bụi mịn PM_{2.5}.
- Chất ô nhiễm phân bố và thay đổi theo mùa, các mùa lạnh (Thu và Đông) được ghi nhận có nồng độ cao hơn mùa nóng (Hè và Xuân).

Kiến nghị:

- + Do O₃ dữ liệu chưa được cập nhật đến từng cell địa lý mới chỉ được thể hiện nồng độ theo lớp bao phủ trên bề mặt trái đất. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo nhóm nghiên cứu sẽ kết hợp các dữ liệu vệ tinh giám sát khác để làm rõ mối liên hệ giữa O₃ và các chất ô nhiễm cơ bản này.
- + Chất ô nhiễm trong không khí được lưu chuyển liên tục, thay đổi theo điều kiện thời tiết. Vì vậy, nhóm nghiên cứu sẽ kết hợp với các mô hình nguồn tiếp nhận để truy xuất nguồn gốc các chất ô nhiễm. Giúp đánh giá được nguồn gốc các chất ô nhiễm từ đó có biện pháp giảm thiểu ô nhiễm phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. EPA, U., *Criteria Air Pollutants* (<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>). 2014.
2. Bond, T.C. and C.E. Scott, *Chapter 8 - Aerosol and precursor gas emissions*, in *Aerosols and Climate*, K.S. Carslaw, Editor. 2022, Elsevier. p. 299-342.
3. Thang, P.Q., Y. Muto, Y. Maeda, N.Q. Trung, Y. Itano, and N. Takenaka, *Increase in ozone due to the use of biodiesel fuel rather than diesel fuel*. *Environmental Pollution*, 2016. 216(Supplement C): p. 400-407.
4. Lacima, A., H. Petetin, A. Soret, D. Bowdalo, O. Jorba, Z. Chen, R.F. Méndez Turrubiates, H. Achebak, J. Ballester, and C. Pérez García-Pando, *Long-term evaluation of surface air pollution in CAMSRA and MERRA-2 global reanalyses over Europe (2003–2020)*. *Geosci. Model Dev.*, 2023. 16(9): p. 2689-2718.
5. Ryu, Y.-H. and S.-K. Min, *Long-term evaluation of atmospheric composition reanalyses from CAMS, TCR-2, and MERRA-2 over South Korea: Insights into applications, implications, and limitations*. *Atmospheric Environment*, 2021. 246: p. 118062.
6. Wagner, A., Y. Bennouna, A.-M. Blechschmidt, G. Brasseur, S. Chabrillat, Y. Christophe, Q. Errera, H. Eskes, J. Flemming, K.M. Hansen, A. Inness, J. Kapsomenakis, B. Langerock, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, and C. Zerefos, *Comprehensive evaluation of the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) reanalysis against independent observations: Reactive gases*. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 2021. 9(1).
7. Ma, X., P. Yan, T. Zhao, X. Jia, J. Jiao, Q. Ma, D. Wu, Z. Shu, X. Sun, and B.A. Habtemicheal, *Evaluations of Surface PM₁₀ Concentration and Chemical Compositions in MERRA-2 Aerosol Reanalysis over Central and Eastern China*. *Remote Sensing*, 2021. 13(7): p. 1317.
8. Navinya, C.D., V. Vinoj, and S.K. Pandey, *Evaluation of PM_{2.5} Surface Concentrations Simulated by NASA's MERRA Version 2 Aerosol Reanalysis over*

India and its Relation to the Air Quality Index. Aerosol and Air Quality Research, 2020. 20(6): p. 1329-1339.

9. Provençal, S., V. Buchard, A.M. da Silva, R. Leduc, and N. Barrette, *Evaluation of PM surface concentrations simulated by Version 1 of NASA's MERRA Aerosol Reanalysis over Europe*. Atmospheric Pollution Research, 2017. 8(2): p. 374-382.

10. Provençal, S., V. Buchard, A.M.d. Silva, R. Leduc, N. Barrette, E. Elhacham, and S.-H. Wang, *Evaluation of PM_{2.5} Surface Concentrations Simulated by Version 1 of NASA's MERRA Aerosol Reanalysis over Israel and Taiwan*. Aerosol and Air Quality Research, 2017. 17(1): p. 253-261.

11. Buchard, V., A.M. da Silva, C.A. Randles, P. Colarco, R. Ferrare, J. Hair, C. Hostetler, J. Tackett, and D. Winker, *Evaluation of the surface PM_{2.5} in Version 1 of the NASA MERRA Aerosol Reanalysis over the United States*. Atmospheric Environment, 2016. 125: p. 100-111.

12. Huijnen, V., K. Miyazaki, J. Flemming, A. Inness, T. Sekiya, and M.G. Schultz, *An intercomparison of tropospheric ozone reanalysis products from CAMS, CAMS interim, TCR-1, and TCR-2*. Geosci. Model Dev., 2020. 13(3): p. 1513-1544.

13. Ukhov, A., S. Mostamandi, N. Krotkov, J. Flemming, A. da Silva, C. Li, V. Fioletov, C. McLinden, A. Anisimov, Y.M. Alshehri, and G. Stenchikov, *Study of SO₂ Pollution in the Middle East Using MERRA-2, CAMS Data Assimilation Products, and High-Resolution WRF-Chem Simulations*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2020. 125(6): p. e2019JD031993.

14. Ali, M.A., M. Bilal, Y. Wang, J.E. Nichol, A. Mhawish, Z. Qiu, G. de Leeuw, Y. Zhang, Y. Zhan, K. Liao, M. Almazroui, R. Dambul, S. Shahid, and M.N. Islam, *Accuracy assessment of CAMS and MERRA-2 reanalysis PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations over China*. Atmospheric Environment, 2022. 288: p. 119297.

15. Lahoz, W.A. and P. Schneider, *Data assimilation: making sense of Earth Observation*. Frontiers in Environmental Science, 2014. 2.

16. Miyazaki, K., T. Sekiya, D. Fu, K.W. Bowman, S.S. Kulawik, K. Sudo, T. Walker, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Ogochi, H. Eskes, K.F. Boersma, A.M. Thompson, B. Gaubert, J. Barre, and L.K. Emmons, *Balance of Emission and*

Dynamical Controls on Ozone During the Korea-United States Air Quality Campaign From Multiconstituent Satellite Data Assimilation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019. 124(1): p. 387-413.

17. Gueymard, C.A. and D. Yang, *Worldwide validation of CAMS and MERRA-2 reanalysis aerosol optical depth products using 15 years of AERONET observations*. Atmospheric Environment, 2020. 225: p. 117216.

18. Wang, Y., Y.F. Ma, H. Eskes, A. Inness, J. Flemming, and G.P. Brasseur, *Evaluation of the CAMS global atmospheric trace gas reanalysis 2003–2016 using aircraft campaign observations*. Atmos. Chem. Phys., 2020. 20(7): p. 4493-4521.

19. Ly, B.-T., Y. Matsumi, T. Nakayama, Y. Sakamoto, Y. Kajii, and T.-D. Nghiem, *Characterizing PM_{2.5} in Hanoi with New High Temporal Resolution Sensor*. Aerosol and Air Quality Research, 2018. 18(9): p. 2487-2497.

20. DISC, G., *Dataset: MERRA-2 tavgM_2d_chm_Nx: 2d,Monthly mean,Time-Averaged,Single-Level,Assimilation,Carbon Monoxide and Ozone Diagnostics V5.12.4 (M2TMNXCHM 5.12.4)*. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2TMNXCHM_5.12.4/summary. Accessed 30 Sep 2024.

21. DISC., G., https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMNO2d_003/summary. Accessed 30 Sep 2024.

22. DISC, G., *Dataset: MERRA-2 tavg1_2d_aer_Nx: 2d,1-Hourly,Time-averaged,Single-Level,Assimilation,Aerosol Diagnostics V5.12.4 (M2T1NXAER 5.12.4)*. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2T1NXAER_5.12.4/summary. Accessed 30 Sep 2024.

23. *Dataset: MERRA-2 tavgM_2d_aer_Nx: 2d,Monthly mean,Time-averaged,Single-Level,Assimilation,Aerosol Diagnostics V5.12.4 (M2TMNXAER 5.12.4)*. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2TMNXAER_5.12.4/summary. Accessed 30 Sep 2024. GES DISC.

24. Inness, A., M. Ades, A. Agustí-Panareda, J. Barré, A. Benedictow, A.M. Blechschmidt, J.J. Dominguez, R. Engelen, H. Eskes, J. Flemming, V. Huijnen, L. Jones, Z. Kipling, S. Massart, M. Parrington, V.H. Peuch, M. Razinger, S. Remy,

- M. Schulz, and M. Suttie, *The CAMS reanalysis of atmospheric composition*. Atmos. Chem. Phys., 2019. 19(6): p. 3515-3556.
25. Randles, C.A., A.M. da Silva, V. Buchard, P.R. Colarco, A. Darmenov, R. Govindaraju, A. Smirnov, B. Holben, R. Ferrare, J. Hair, Y. Shinozuka, and C.J. Flynn, *The MERRA-2 Aerosol Reanalysis, 1980 Onward. Part I: System Description and Data Assimilation Evaluation*. Journal of Climate, 2017. 30(17): p. 6823-6850.
 26. Carvalho, D., *An Assessment of NASA's GMAO MERRA-2 Reanalysis Surface Winds*. Journal of Climate, 2019. 32(23): p. 8261-8281.
 27. Colarco, P., A. da Silva, M. Chin, and T. Diehl, *Online simulations of global aerosol distributions in the NASA GEOS-4 model and comparisons to satellite and ground-based aerosol optical depth*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010. 115(D14).
 28. Liao, T., K. Gui, W. Jiang, S. Wang, B. Wang, Z. Zeng, H. Che, Y. Wang, and Y. Sun, *Air stagnation and its impact on air quality during winter in Sichuan and Chongqing, southwestern China*. Science of The Total Environment, 2018. 635: p. 576-585.
 29. O, U.E., (2014) NAAQS Table. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Accessed 24 Sep 2024.
 30. Deheri, C., S.K. Acharya, D.N. Thatoi, and A.P. Mohanty, *A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode*. Fuel, 2020. 260: p. 116337.
 31. Freddy Grajales J, B.-B.A., *Inference of surface concentrations of nitrogen dioxide (NO₂) in Colombia from tropospheric columns of the ozone measurement instrument (OMI)*. . Atmósfera 2014. 27:193–214.
 32. (2024) Heatwave continues in Laos as wildfires burn large land in Luang Prabang. In: The Star. <https://www.thestar.com.my/aseanplus/aseanplus-news/2024/05/04/heatwave-continues-in-laos-as-wildfires-burn-large-land-in-luang-prabang>. Accessed 12 Aug 2024.

33. Wildfires in Laos have burned half of forested land in some provinces. In: Radio Free Asia. <https://www.rfa.org/english/news/laos/forest-fires-oudomxay-05022023152309.html>. Accessed 12 Aug 2024.
34. (2023) Quy chuẩn quốc gia về chất lượng không khí (QCVN 05:2023/BTNMT)? In: ThuVienPhapLuat.vn. <https://thuvienphapluat.vn/hoi-dap-phap-luat/839C3E4-hd-quy-chuan-quoc-gia-ve-chat-luong-khong-khi-qcvn-052023btnmt.html>. Accessed 22 Jul 2024.
35. Hien, P.D., V.T. Bac, H.C. Tham, D.D. Nhan, and L.D. Vinh, *Influence of meteorological conditions on PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations during the monsoon season in Hanoi, Vietnam*. Atmospheric Environment, 2002. 36(21): p. 3473-3484.
36. Cohen, D.D., J. Crawford, E. Stelcer, and V.T. Bac, *Characterisation and source apportionment of fine particulate sources at Hanoi from 2001 to 2008*. Atmospheric Environment, 2010. 44(3): p. 320-328.