



# ỨNG DỤNG DỮ LIỆU VỆ TINH SENTINEL 5P XÁC ĐỊNH NỒNG ĐỘ SO<sub>2</sub> TRONG KHÔNG KHÍ KHU VỰC TỈNH LÀO CAI

Đinh Thị Thu Hiền<sup>1</sup>, Trịnh Lê Hùng<sup>2,\*</sup>, Nguyễn Đức Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực, 235 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 16/01/2026

Ngày nhận bài sửa: 22/02/2026

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2026

\*Tác giả liên hệ: Trịnh Lê Hùng

Email: tringlehung@lqdtu.edu.vn

## TÓM TẮT

Lào Cai là một địa phương có tốc độ phát triển kinh tế - xã hội nhanh chóng, nhất là tại khu công nghiệp Tầng Loỏng, nơi tập trung nhiều cơ sở luyện kim, hóa chất và hoạt động giao thông - công nghiệp nặng. Các hoạt động này đã làm gia tăng áp lực lên chất lượng không khí tại địa phương, ảnh hưởng tới môi trường sống của người dân. Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel 5P với bộ cảm biến TROPOMI để xác định nồng độ SO<sub>2</sub> trong không khí khu vực tỉnh Lào Cai giai đoạn 2019-2024. Quá trình xử lý dữ liệu được thực hiện trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE), sau đó được biên tập thành bản đồ phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý và năm. Kết quả nhận được cho thấy có sự phân hóa rõ rệt về không gian và thời gian của nồng độ SO<sub>2</sub> tại Lào Cai. Đây là nguồn thông tin khách quan và hiệu quả phục vụ công tác quản lý, giám sát chất lượng môi trường không khí tại khu vực nghiên cứu.

**Từ khóa:** chất lượng không khí, ô nhiễm không khí, Google Earth Engine, Sentinel 5P, SO<sub>2</sub>, Lào Cai.

@ Hiệp hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, dữ liệu vệ tinh Sentinel-5P với cảm biến TROPOMI đã trở thành công cụ quan trọng trong giám sát chất lượng không khí toàn cầu nhờ khả năng quan trắc liên tục với độ phân giải cao. Các sản phẩm khí quyển từ vệ tinh này, bao gồm SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, cho phép đánh giá phân bố không gian và biến động theo thời gian của các chất ô nhiễm từ quy mô khu vực đến toàn cầu. Đặc biệt, việc tích hợp xử lý dữ liệu trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE) đã giúp khai thác hiệu quả chuỗi thời gian dữ liệu lớn, giảm thiểu thời gian tính toán và hỗ trợ đắc lực cho việc thành lập bản đồ xu thế ô nhiễm [1].

Trên thế giới, dữ liệu Sentinel-5P TROPOMI đã được chứng minh là giải pháp hiệu quả để lập bản đồ ô nhiễm khí quyển tại nhiều khu vực địa lý khác nhau. Điển hình, Wiczorek (2023) đã sử dụng dữ liệu này để lập bản đồ phân bố các khí SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>

và CO tại khu vực Trung và Đông Âu, qua đó làm rõ các mô hình ô nhiễm quy mô vùng [2].

Tại các khu vực đô thị, Shah và cộng sự (2024) đã ứng dụng TROPOMI để giám sát chất lượng không khí tại thành phố Pune, khẳng định khả năng phát hiện các nguồn thải chính từ không gian [3]. Các nghiên cứu chuyên sâu hơn như của Shetty và cộng sự (2024) hay Qin và cộng sự (2023) còn kết hợp dữ liệu vệ tinh với các mô hình học máy (Machine Learning) hoặc phương pháp nghịch đảo mô hình để nâng cao độ chính xác trong ước tính nồng độ khí thải bề mặt và phát thải NO<sub>x</sub> [4], [5]. Đặc biệt, đối với các khu vực có hoạt động khai thác khoáng sản và công nghiệp nặng, Sentinel-5P TROPOMI đã cho thấy khả năng vượt trội trong việc phát hiện các nguồn phát thải lớn. Nghiên cứu của Trenchev và cộng sự (2023) tại lưu vực than Kuznetsk (Nga) đã phát hiện lượng phát thải đáng kể của CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> và CO từ các mỏ than lộ thiên, minh chứng cho tiềm năng của viễn thám trong



việc giám sát khí thải tại các khu vực khai thác mỏ rộng lớn [6].

Tại Việt Nam, hướng nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám để đánh giá chất lượng không khí cũng đang nhận được sự quan tâm lớn. Gần đây, Trịnh Lê Hùng và cộng sự (2024) đã công bố kết quả lập bản đồ phân bố không gian các chất ô nhiễm không khí tại tỉnh Quảng Ninh – một trung tâm khai thác than và nhiệt điện lớn, cho thấy ảnh hưởng của quá trình khai thác, chế biến khoáng sản và các hoạt động công nghiệp tới chất lượng không khí [7]. Một số nghiên cứu ở Việt Nam cũng đã sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel 5P phục vụ xác định nồng độ một số thông số ô nhiễm không khí ở các thành phố như Hà Nội, Thái Nguyên [8], [9].

Lào Cai là một trong những trung tâm công nghiệp – khai khoáng lớn của khu vực, đặc biệt tại khu công nghiệp Tầng Loỏng, nơi tập trung nhiều cơ sở sản xuất hóa chất, luyện kim và các hoạt động vận chuyển quy mô lớn. Các hoạt động này tiềm ẩn nguy cơ phát thải lượng lớn khí SO<sub>2</sub> và bụi vào môi trường. Mặc dù Sentinel-5P đã được ứng dụng rộng rãi, nhưng các nghiên cứu chuyên sâu theo chuỗi thời gian dài để đánh giá đặc trưng phân bố SO<sub>2</sub> tại khu vực khai thác khoáng sản và chế biến hóa chất đặc thù như Lào Cai vẫn còn hạn chế.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu này tập trung ứng dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-5P/TROPOMI trên nền tảng Google Earth Engine nhằm xác định nồng độ SO<sub>2</sub> trong không khí khu vực tỉnh Lào Cai giai đoạn 2019-2024. Mục tiêu của nghiên cứu là thành lập bản đồ phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý và năm, phân tích biến động không gian - thời gian, từ đó cung cấp cơ sở khoa học khách quan phục vụ công tác giám sát và quản lý môi trường không khí tại địa phương.

Các phương pháp truyền thống xác định nồng độ SO<sub>2</sub> trong không khí chủ yếu dựa vào mạng lưới trạm quan trắc mặt đất, cho phép đo trực tiếp tại chỗ với độ chính xác cao. Tuy nhiên, chúng tồn tại nhiều hạn chế: phạm vi không gian hẹp, chi phí đầu tư và vận hành lớn, đồng thời khó nắm bắt đầy đủ đặc trưng phân bố SO<sub>2</sub>, đặc biệt ở vùng núi địa hình phức tạp như tỉnh Lào Cai. Trong bối cảnh này, dữ liệu vệ tinh Sentinel-5P mang lại lợi thế quan trắc liên tục trên diện rộng, cung cấp góc nhìn không gian – thời gian toàn diện. Nhờ đó, phương pháp vệ tinh không chỉ bổ sung cho quan trắc truyền thống mà còn hỗ trợ đánh giá xu thế ô nhiễm, nhận diện các khu vực nguy cơ cao, góp

phần khắc phục những bất cập về phạm vi và chi phí của các trạm mặt đất.

## 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

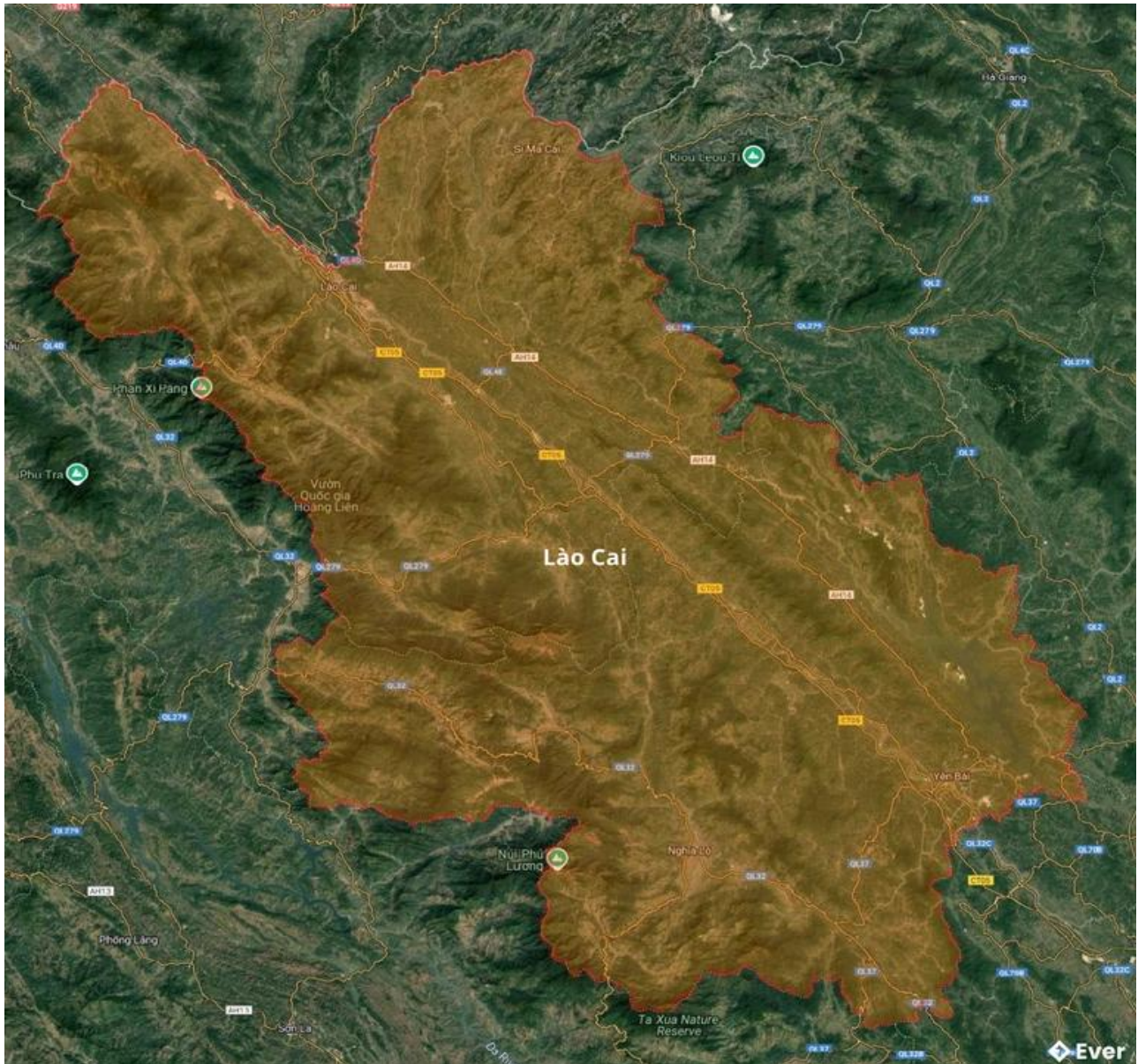
### 2.1. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám khí quyển từ vệ tinh Sentinel-5P, được trang bị cảm biến TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument). Vệ tinh hoạt động trên quỹ đạo gần cực đồng bộ Mặt Trời, ở độ cao khoảng 824 km so với bề mặt Trái Đất. TROPOMI hoạt động dựa trên nguyên lý phân tích phổ bức xạ mặt trời tán xạ và phản xạ từ bề mặt Trái Đất cũng như khí quyển trong dải tử ngoại và khả kiến.

Dữ liệu SO<sub>2</sub> từ cảm biến TROPOMI không đo tại một độ cao cố định trong khí quyển, mà được tính toán dưới dạng mật độ cột SO<sub>2</sub> – tức tổng lượng SO<sub>2</sub> tích hợp theo phương thẳng đứng từ bề mặt Trái Đất lên đến tầng khí quyển trên cùng. Do vậy, thông tin này phản ánh trạng thái tổng hợp của SO<sub>2</sub> trong toàn bộ cột khí quyển, bao gồm cả lớp gần mặt đất lẫn các tầng cao hơn, chứ không riêng biệt nồng độ tại bề mặt.

Giai đoạn nghiên cứu từ 2019 đến 2024 được chọn vì đây là khoảng thời gian vệ tinh Sentinel-5P hoạt động ổn định và cung cấp chuỗi dữ liệu liên tục, chất lượng cao [10]. Đây cũng là giai đoạn kinh tế-xã hội tỉnh Lào Cai có sự phát triển nhanh chóng, với sự gia tăng các hoạt động khai thác khoáng sản, sản xuất xi măng, luyện kim...

Thông số chính được sử dụng trong nghiên cứu là SO<sub>2</sub> column number density (mật độ số tổng cột SO<sub>2</sub>), biểu thị lượng SO<sub>2</sub> tích hợp theo phương thẳng đứng trong khí quyển tại từng điểm ảnh. Nồng độ khí SO<sub>2</sub> được chọn làm đối tượng phân tích chính vì đây là một trong những chất ô nhiễm đặc trưng gắn liền với các hoạt động luyện kim, sản xuất hóa chất và chế biến khoáng sản – những ngành kinh tế mũi nhọn tại Lào Cai. Việc tập trung vào SO<sub>2</sub> giúp làm rõ mối liên hệ trực tiếp giữa phát thải từ công nghiệp địa phương và chất lượng không khí khu vực, đồng thời đặt nền tảng vững chắc cho các nghiên cứu tiếp theo mở rộng sang các chất ô nhiễm khác như NO<sub>2</sub>, CO hay aerosol. Toàn bộ dữ liệu được truy cập và xử lý trực tiếp trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), giúp tăng tốc độ xử lý dữ liệu lớn và đồng bộ hóa chuỗi thời gian nhiều năm. Ngoài ra, việc xử lý dữ liệu cũng tham khảo các quy trình chuẩn hóa đối với sản phẩm cột khí quyển SO<sub>2</sub> để đảm bảo độ chính xác [11].



Hình 1. Ảnh vệ tinh khu vực ranh giới Lào Cai (nguồn: Internet)

Hình 1 thể hiện lớp dữ liệu ranh giới hành chính tỉnh Lào Cai để cắt vùng nghiên cứu và chuẩn hóa kết quả biểu diễn không gian. Tỉnh Lào Cai nằm ở vùng núi phía Bắc Việt Nam, giáp biên giới Trung Quốc và đóng vai trò quan trọng trong hành lang kinh tế Côn Minh – Lào Cai – Hà Nội – Hải Phòng. Từ 2019 đến 2024, Lào Cai là một trong những địa phương có tốc độ phát triển công nghiệp và khai khoáng nhanh nhất cả nước, nổi bật tại khu công nghiệp Tăng Loong – nơi tập trung các cơ sở luyện kim, sản xuất hóa chất, phân bón và chế biến khoáng sản. Bên cạnh đó, hoạt động vận chuyển khoáng sản, giao thông xuyên biên giới và quá trình đô thị hóa tại thành phố Lào Cai cũng diễn ra mạnh mẽ. Những hoạt động này làm tăng nguy cơ phát thải các chất ô nhiễm không khí, đặc biệt là

SO<sub>2</sub>, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng môi trường và sức khỏe người dân địa phương.

Địa hình miền núi phức tạp với nhiều thung lũng và khu vực đô thị nằm trong địa hình trũng càng làm gia tăng hiện tượng tích tụ ô nhiễm khí gặp điều kiện khí tượng bất lợi (như nghịch nhiệt, gió yếu). Do vậy, Lào Cai là khu vực lý tưởng để nghiên cứu đặc trưng phân bố và biến động không gian – thời gian của SO<sub>2</sub> trong khí quyển, đặc biệt khi kết hợp dữ liệu vệ tinh Sentinel-5P với bối cảnh phát triển kinh tế – xã hội thực tế.

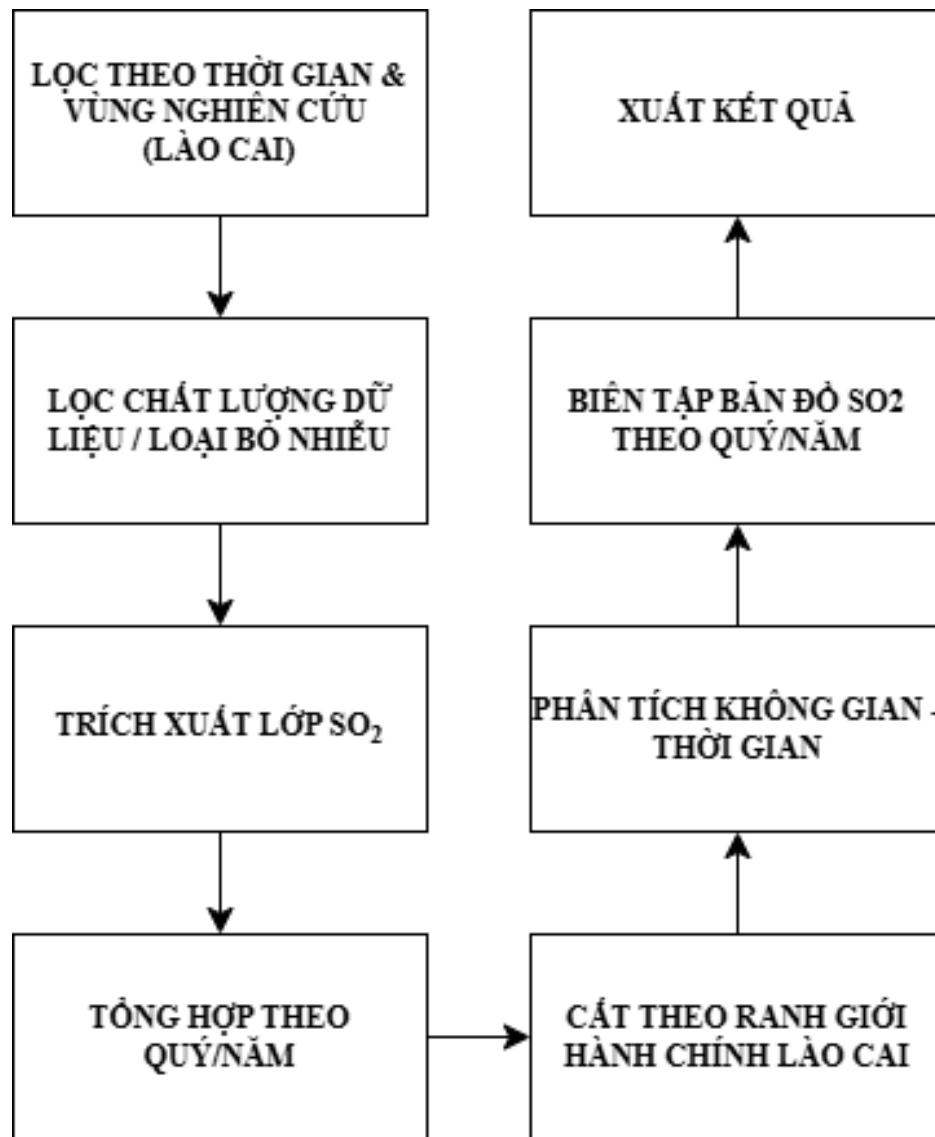
## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Dữ liệu cột khí quyển từ Sentinel-5P/TROPOMI đặc biệt phù hợp để đánh giá xu thế dài hạn, phân tích sự phân hóa không gian và nhận diện các khu



vực có nguồn phát thải SO<sub>2</sub> mạnh trên phạm vi rộng. Tuy nhiên, vì không phản ánh trực tiếp nồng độ SO<sub>2</sub> gần mặt đất, đồng thời chịu ảnh hưởng từ điều kiện khí tượng (như gió, mây, đối lưu) và quá

trình vận chuyển khí quyển, kết quả từ vệ tinh cần được kết hợp với dữ liệu quan trắc mặt đất. Việc kết hợp này giúp đánh giá đầy đủ mức độ ô nhiễm không khí thực tế, đồng thời so sánh chính xác hơn với các ngưỡng quy chuẩn môi trường Việt Nam.



Hình 2. Sơ đồ quy trình xử lý dữ liệu SO<sub>2</sub> từ Sentinel-5P/TROPOMI

Hình 2 trình bày sơ đồ quy trình phương pháp nghiên cứu, thực hiện dựa trên việc khai thác và xử lý chuỗi dữ liệu Sentinel-5P/TROPOMI nhằm đánh giá sự phân bố và biến động của SO<sub>2</sub> trong không khí khu vực tỉnh Lào Cai giai đoạn 2019–2024. Trước hết, dữ liệu SO<sub>2</sub> được lựa chọn theo khoảng thời gian nghiên cứu và giới hạn trong phạm vi ranh giới hành chính tỉnh Lào Cai, đồng thời loại bỏ các điểm ảnh có chất lượng quan trắc thấp để tăng độ tin cậy. Sau đó, chỉ số SO<sub>2</sub> được trích xuất và xử lý trực tiếp trên nền tảng Google

Earth Engine (GEE) nhằm đồng bộ hóa quy trình và tối ưu khả năng xử lý dữ liệu lớn [1].

Tiếp theo, dữ liệu được tổng hợp thống kê theo quý và theo năm dựa trên giá trị trung bình để phản ánh đặc trưng biến động theo mùa và xu thế dài hạn. Cuối cùng, nghiên cứu tiến hành phân tích sự phân bố không gian nhằm xác định các khu vực có nồng độ SO<sub>2</sub> cao, đồng thời đánh giá xu thế biến động theo thời gian và thảo luận mối liên hệ giữa nồng độ SO<sub>2</sub> với các nguồn phát thải tiềm năng



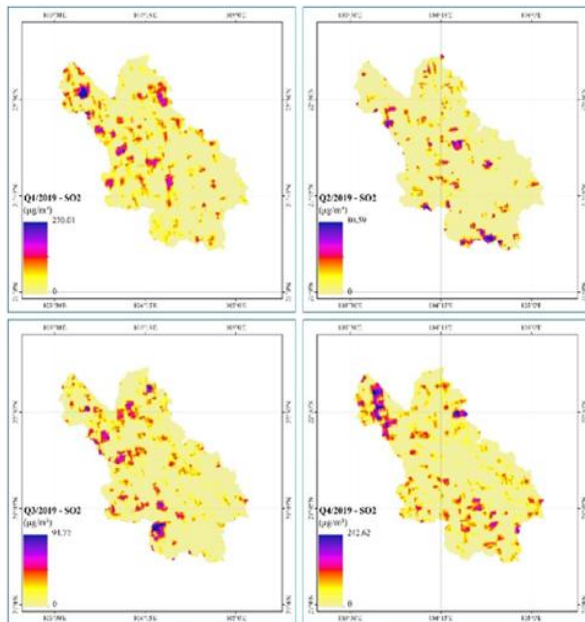
như hoạt động công nghiệp, khai khoáng và giao thông trong khu vực nghiên cứu.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

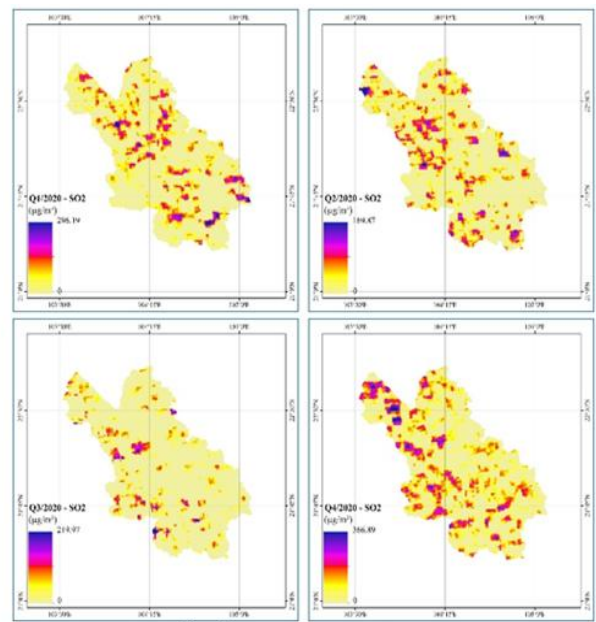
#### 3.1. Phân bố SO<sub>2</sub> theo quý (2019 - 2024)

Kết quả tổng hợp và thành lập bản đồ nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý từ dữ liệu Sentinel-5P/TROPOMI trong giai đoạn 2019–2024 được thể hiện trên Hình 3 – Hình 8 cho thấy, SO<sub>2</sub> tại tỉnh Lào Cai có

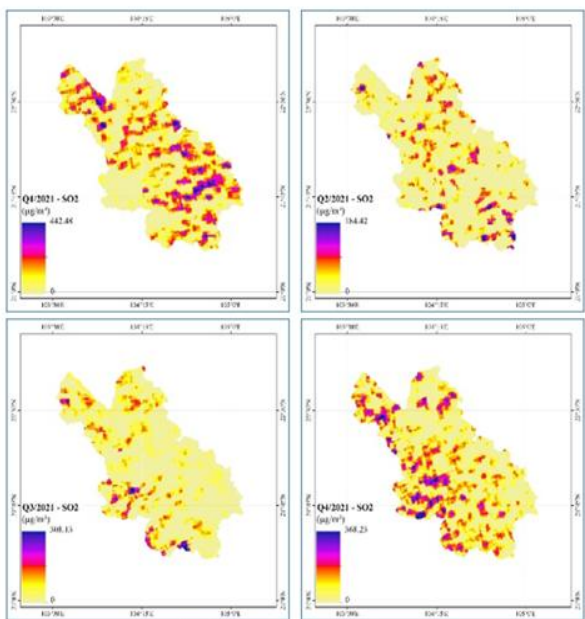
sự phân hóa rõ rệt theo không gian và biến động theo mùa. Nhìn chung, các khu vực có giá trị SO<sub>2</sub> cao thường tập trung tại vùng phát triển công nghiệp – đô thị và những nơi có hoạt động khai thác, chế biến khoáng sản hoặc mật độ giao thông lớn, trong khi các khu vực vùng núi cao, rừng tự nhiên và nơi ít dân cư có xu hướng ghi nhận nồng độ thấp và ổn định hơn. Điều này phản ánh vai trò chi phối của các nguồn phát thải nhân sinh đối với nền SO<sub>2</sub> của tỉnh.



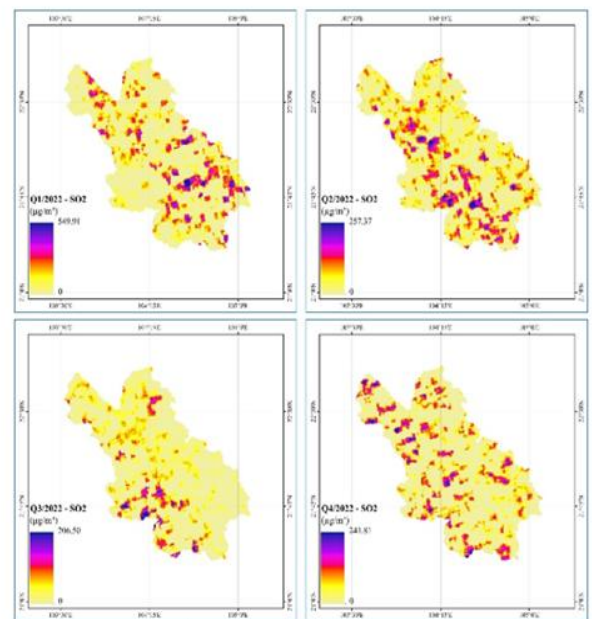
Hình 3. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2019



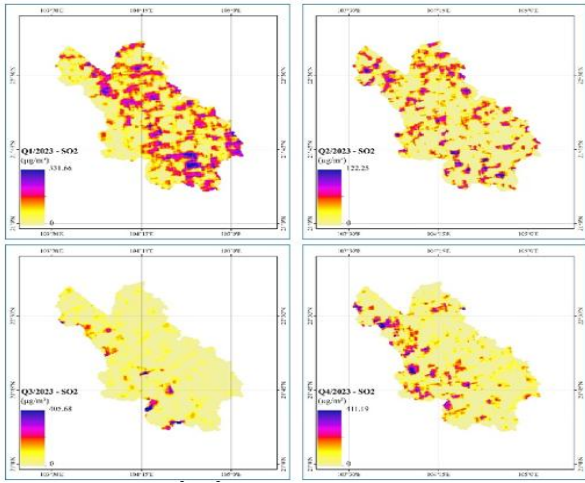
Hình 4. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2020



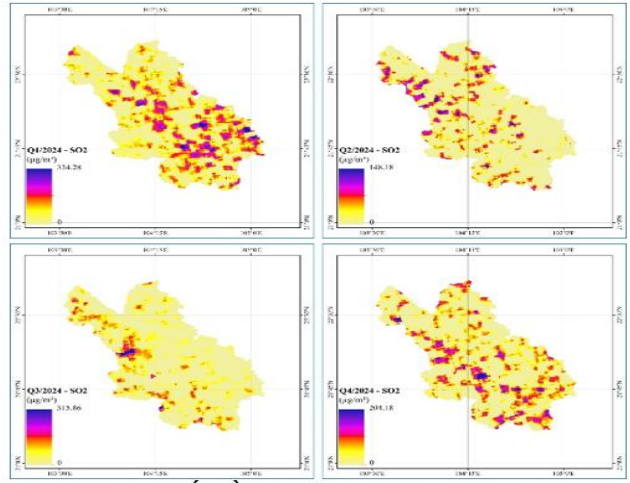
Hình 5. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2021



Hình 6. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2022



Hình 7. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2023



Hình 8. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo quý năm 2024

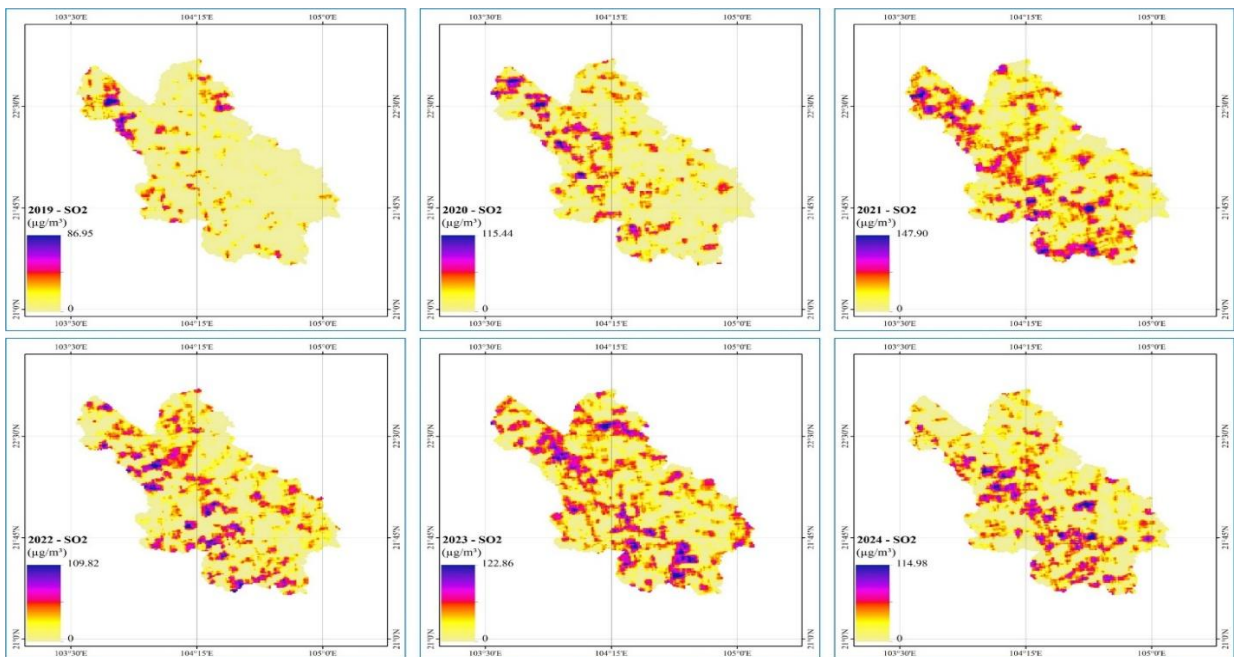
Xét theo mùa, kết quả theo quý cho thấy SO<sub>2</sub> có xu thế biến động phù hợp với đặc điểm khí tượng của khu vực miền núi phía Bắc. Ở quý I (Q1) và quý IV (Q4), khi thời tiết thường lạnh hơn và ít mưa, khả năng khuếch tán và đối lưu khí quyển có thể suy giảm, do đó nồng độ SO<sub>2</sub> có xu hướng cao hơn hoặc dễ hình thành các vùng tập trung cục bộ. Đây cũng là giai đoạn có thể xuất hiện hiện tượng nghịch nhiệt, làm tăng khả năng tích tụ khí ô nhiễm tại các khu vực địa hình thấp hoặc thung lũng đô thị - công nghiệp.

Ngược lại, trong quý II (Q2) và đặc biệt là quý III (Q3) (trùng với thời kỳ mưa nhiều), nồng độ SO<sub>2</sub> có xu hướng giảm và phân bố loang rộng hơn do

tác động của mưa và gió mùa, góp phần làm giảm tích tụ khí ô nhiễm thông qua quá trình rửa trôi khí quyển. Bên cạnh yếu tố khí tượng, bản đồ theo quý còn cho thấy những “điểm nóng” SO<sub>2</sub> có tính ổn định tương đối trong nhiều năm, phản ánh tác động lâu dài của các nguồn phát thải cố định (công nghiệp, khai khoáng, chế biến) và các nguồn phát thải di động (giao thông).

Như vậy, phân tích theo quý không chỉ giúp nhận diện sự thay đổi theo mùa của SO<sub>2</sub> mà còn cung cấp cơ sở để xác định các thời điểm rủi ro ô nhiễm cao hơn trong năm, qua đó hỗ trợ công tác theo dõi, cảnh báo và quản lý chất lượng không khí tại tỉnh Lào Cai.

### 3.2. Phân bố SO<sub>2</sub> theo năm (2019 - 2024)



Hình 9. Phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> theo năm giai đoạn 2019-2024



Trên cơ sở tổng hợp dữ liệu Sentinel-5P/TROPOMI theo năm, kết quả bản đồ nồng độ  $\text{SO}_2$  trung bình năm giai đoạn 2019–2024 được thể hiện trên Hình 9 cho thấy  $\text{SO}_2$  tại tỉnh Lào Cai có sự biến động theo thời gian và thể hiện rõ xu hướng phân hóa giữa các khu vực phát thải mạnh và các vùng nền. Nhìn chung, các khu vực có giá trị  $\text{SO}_2$  cao thường xuất hiện ổn định ở những vùng tập trung hoạt động công nghiệp – khai khoáng và các khu vực đô thị, trong khi những vùng núi cao, rừng và khu vực ít chịu tác động nhân sinh có nồng độ thấp hơn và ít biến động hơn. Điều này cho thấy các hoạt động sản xuất và vận chuyển khoáng sản là nguồn phát thải  $\text{SO}_2$  chính tại một số khu vực trọng điểm.

Biến động theo năm cho phép nhận diện xu thế tăng/giảm của  $\text{SO}_2$  trong toàn giai đoạn nghiên cứu. Sự khác biệt giữa các năm có thể phản ánh sự thay đổi về cường độ sản xuất, hoạt động khai thác – chế biến khoáng sản, cũng như tác động của các yếu tố khí tượng (gió, lượng mưa, nhiệt độ) làm thay đổi khả năng khuếch tán và lắng đọng khí  $\text{SO}_2$ . Trong các năm có điều kiện khí tượng bất lợi như ít mưa hoặc xuất hiện các đợt ổn định khí quyển kéo dài,  $\text{SO}_2$  có khả năng tích tụ cao hơn và thể hiện rõ hơn trên bản đồ trung bình năm. Ngược lại, những năm có lượng mưa lớn hoặc điều kiện phát tán thuận lợi có thể làm giảm nồng độ  $\text{SO}_2$  trung bình.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng dữ liệu Sentinel-5P phản ánh tổng cột  $\text{SO}_2$  trong khí quyển, do đó ngoài nguồn phát thải tại chỗ, kết quả còn có thể chịu ảnh hưởng bởi sự vận chuyển khí ô nhiễm theo gió và điều kiện quan trắc. Dù vậy, việc các vùng có nồng độ  $\text{SO}_2$  cao xuất hiện tương đối ổn định theo nhiều năm tại những khu vực phát thải tập trung cho thấy tính hữu ích của Sentinel – 5P trong giám sát xu thế dài hạn.

### 3.3. THẢO LUẬN

Kết quả phân tích nồng độ  $\text{SO}_2$  theo quý và theo năm từ dữ liệu Sentinel-5P/TROPOMI cho thấy sự phân bố  $\text{SO}_2$  tại tỉnh Lào Cai chịu tác động đồng thời của nguồn phát thải nhân sinh và điều kiện tự nhiên. Việc các vùng  $\text{SO}_2$  nồng độ cao xuất hiện tập trung và tương đối ổn định ở một số khu vực trong nhiều giai đoạn cho thấy ảnh hưởng đáng kể của hoạt động công nghiệp, khai thác – chế biến khoáng sản và giao thông vận tải, tương

đồng với các kết quả nghiên cứu tại các vùng mỏ khác trên thế giới [6] và tại Quảng Ninh [7].

Bên cạnh yếu tố phát thải, các đặc điểm khí tượng theo mùa đã góp phần làm thay đổi mức độ tích tụ và phát tán  $\text{SO}_2$ , thể hiện rõ qua sự khác biệt giữa các quý. Vào thời kỳ mưa nhiều,  $\text{SO}_2$  có xu hướng giảm do quá trình rửa trôi và lắng đọng ướt; trong khi vào thời kỳ ít mưa hoặc trời lạnh, khả năng khuếch tán giảm có thể làm nồng độ  $\text{SO}_2$  tăng và hình thành các “điểm nóng” rõ hơn. Đặc điểm địa hình miền núi của Lào Cai, với nhiều thung lũng xen kẽ núi cao, cũng có thể làm gia tăng hiện tượng tích tụ chất ô nhiễm ở những khu vực thấp và khu vực đô thị – công nghiệp, nhất là trong điều kiện đối lưu yếu.

Trong phạm vi nghiên cứu này, việc đối chiếu định lượng giữa kết quả  $\text{SO}_2$  từ Sentinel-5P/TROPOMI và số liệu quan trắc mặt đất tại tỉnh Lào Cai còn gặp nhiều hạn chế. Mạng lưới trạm quan trắc không khí nền ở khu vực chưa phân bố đều, trong khi dữ liệu chuỗi thời gian dài hạn chưa được công bố đầy đủ. Quan trọng hơn, dữ liệu vệ tinh thể hiện mật độ cột  $\text{SO}_2$  tích hợp theo phương thẳng đứng trong toàn bộ khí quyển, còn các trạm mặt đất chỉ đo nồng độ  $\text{SO}_2$  tại lớp không khí gần bề mặt. Hai loại dữ liệu vì vậy có bản chất vật lý khác biệt, khiến việc so sánh trực tiếp trở nên khó khăn.

Dẫu vậy, nhiều nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng ở những khu vực có nguồn phát thải  $\text{SO}_2$  mạnh và ổn định (như khu công nghiệp, khai khoáng), xu thế biến động theo thời gian lẫn phân bố không gian của  $\text{SO}_2$  từ Sentinel-5P thường tương quan khá tốt với số liệu quan trắc mặt đất [2]-[4]. Vì thế, trong bối cảnh dữ liệu trạm đo còn thiếu, Sentinel-5P vẫn là công cụ hỗ trợ hữu hiệu để phát hiện các khu vực nguy cơ ô nhiễm cao và theo dõi xu hướng biến động  $\text{SO}_2$  trên phạm vi rộng.

Về mặt phương pháp, dữ liệu Sentinel-5P có ưu điểm lớn trong việc giám sát  $\text{SO}_2$  trên diện rộng, liên tục theo thời gian, phù hợp cho đánh giá xu thế và nhận diện khu vực nguy cơ ô nhiễm cao trong điều kiện thiếu trạm quan trắc mặt đất [2], [3]. Ngược lại, hạn chế lớn nhất nằm ở việc sản phẩm  $\text{SO}_2$  chỉ phản ánh tổng mật độ cột khí quyển, với độ phân giải không gian còn khá thô (khoảng  $3.5 \times 7$  km). Kết quả còn chịu ảnh hưởng từ điều kiện khí tượng, quá trình vận chuyển khí cũng như nhiễu



quan trắc. Vì vậy, để nâng cao độ tin cậy và hỗ trợ hiệu quả hơn trong công tác quản lý môi trường, các nghiên cứu trong tương lai nên kết hợp dữ liệu Sentinel – 5P với số liệu quan trắc mặt đất nhằm đánh giá định lượng mối quan hệ giữa mật độ cột SO<sub>2</sub> và nồng độ bề mặt. Đồng thời tích hợp thêm các chỉ tiêu như NO<sub>2</sub>, CO hoặc aerosol để đánh giá toàn diện chất lượng không khí và xác định rõ hơn tác động của các nguồn phát thải tại địa phương theo QCVN 05:2013/BTNMT [12]

#### 4. KẾT LUẬN

➤ Nghiên cứu đã ứng dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-5P/TROPOMI kết hợp nền tảng Google Earth Engine (GEE) để trích xuất, tổng hợp và thành lập bản đồ phân bố nồng độ SO<sub>2</sub> trong không khí tỉnh Lào Cai giai đoạn 2019–2024 theo quý và theo năm. Kết quả cho thấy nồng độ SO<sub>2</sub> có sự phân hóa rõ theo không gian, trong đó các khu vực có hoạt động công nghiệp – khai khoáng và khu

vực đô thị thường ghi nhận giá trị cao hơn so với các vùng núi cao và các khu vực ít chịu tác động bởi các hoạt động kinh tế-xã hội. Phân tích theo quý cho thấy SO<sub>2</sub> biến động theo mùa, phản ánh ảnh hưởng của điều kiện khí tượng như lượng mưa, gió và khả năng khuếch tán khí quyển; trong khi phân tích theo năm giúp nhận diện xu thế biến động dài hạn và các khu vực có nguy cơ ô nhiễm ổn định;

➤ Kết quả nghiên cứu cho thấy dữ liệu Sentinel-5P có tiềm năng ứng dụng trong giám sát SO<sub>2</sub> trên diện rộng, đặc biệt trong điều kiện hạn chế về mạng lưới quan trắc mặt đất. Tuy nhiên để khẳng định đầy đủ độ tin cậy và khả năng ứng dụng trong công tác quản lý chất lượng không khí, cần có thêm các nghiên cứu tương tự tại nhiều khu vực khác nhau và thực hiện so sánh chi tiết với số liệu quan trắc mặt đất, đồng thời tích hợp thêm các chỉ tiêu ô nhiễm khác nhằm đánh giá toàn diện chất lượng không khí □

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Google, *Earth Engine Data Catalog: Copernicus Sentinel-5P (S5P) datasets*, Google Earth Engine. Online, Accessed: Dec. 15, 2025.
- [2] B. Wiczorek, “Air pollution patterns mapping of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO derived from TROPOMI over Central-East Europe,” *Remote Sensing*, vol. 15, no. 6, pp. 1565, 2023.
- [3] S. V. Shah, S. V. Gaikwad and A. D. Vibhute, “Air quality monitoring using Sentinel-5P TROPOMI—A case study of Pune City,” *SN Computer Science*, vol. 5, pp. 1125, 2024.
- [4] S. Shetty, P. Schneider, K. Stebel, P. D. Hamer, A. Kylling and T. K. Berntsen, “Estimating surface NO<sub>2</sub> concentrations over Europe using Sentinel-5P TROPOMI observations and Machine Learning,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 312, pp. 114321, 2024.
- [5] K. Qin, L. Lu, J. Liu, Q. He, J. Shi, W. Deng and J. B. Cohen, “Model-free daily inversion of NO<sub>x</sub> emissions using TROPOMI (MCMFE-NO<sub>x</sub>) and its uncertainty: Declining regulated emissions and growth of new sources,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 295, pp. 113720, 2023.
- [6] P. Trenchev, M. Dimitrova and D. Avetisyan, “Huge CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> and CO emissions from coal mines in the Kuznetsk Basin (Russia) detected by Sentinel-5P,” *Remote Sensing*, vol. 15, no. 6, pp. 1590, 2023.
- [7] L. H. Trinh, V. P. Le, T. H. Tong and S. D. Mai, “Mapping the spatial distribution of air pollutants in Quang Ninh province (Vietnam) using Sentinel-5P data,” *Geodetski Vestnik*, vol. 68, no. 3, pp. 313–326, 2024.
- [8] Đỗ Thị Phương Thảo, Nghiêm Văn Ngọ và Vũ Kim Sơn, “Thành lập bản đồ phân bố nồng độ khí NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> khu vực Hà Nội từ dữ liệu viễn thám Sentinel-5P,” *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 54, tr. 46–53, 2022.
- [9] Lương Ngọc Dũng, Bùi Duy Quỳnh, Trần Đình Trọng và nnk, “Nghiên cứu giải pháp đánh giá ô nhiễm không khí khu vực khai thác mỏ đất đắp bằng dữ liệu Sentinel-5P TROPOMI,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (ĐHXDHN)*, tập 17, số 1V, tr. 62–74, 2022.
- [10] EUMETSAT, *Sentinel-5P TROPOMI UVAI (Aerosol Index) — Dust Aerosol Detection, Monitoring and Forecasting training material*. Online, Accessed: Dec. 20, 2025.
- [11] European Space Agency, *S5P-PAL Data Portal: SO<sub>2</sub>CBR—Sentinel-5P Sulfur Dioxide Vertical Column Product Using COBRA*. Online, Accessed: Dec. 15, 2025.
- [12] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *QCVN 05:2013/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh*, 2013.

## LỜI CẢM ƠN

Bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ điện toán đám mây, viễn thám và GIS xây dựng cơ sở dữ liệu nồng độ một số thông số ô nhiễm không khí khu vực tỉnh Lào Cai do ảnh hưởng của khai thác khoáng sản" của Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam.

---

## APPLICATION OF SENTINEL-5P SATELLITE DATA TO DETERMINE ATMOSPHERIC SO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS IN LAO CAI PROVINCE

Thi Thu Hien Dinh<sup>1</sup>, Le Hung Trinh<sup>2,\*</sup>, Duc Anh Nguyen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power University, 235 Hoang Quoc Viet, Ha Noi, Vietnam

<sup>2</sup>Le Quy Don Technical University, 236 Hoang Quoc Viet, Ha Noi, Vietnam

### ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 16/01/2026

Revised: 22/02/2026

Accepted: 25/02/2026

<sup>2,\*</sup> Corresponding author:

Email: tringlehung@lqdtu.edu.vn

---

### SUMMARY

*Lao Cai is a locality experiencing rapid socio-economic development, particularly in the Tang Loong industrial zone, where numerous metallurgical and chemical facilities, as well as intensive transport and heavy industrial activities, are concentrated. These activities have increased pressure on local air quality, adversely affecting the living environment of residents. This paper presents the results of applying Sentinel-5P satellite data from the TROPOMI sensor to analyze atmospheric SO<sub>2</sub> concentrations in Lao Cai province during the period 2019–2024. Data processing was conducted on the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform and subsequently compiled into quarterly and annual maps of SO<sub>2</sub> concentration distribution. The results reveal clear spatial and temporal variations in SO<sub>2</sub> concentrations across Lao Cai. This information provides an objective and effective basis for air quality management and monitoring in the study area.*

**Keywords:** *air quality, air pollution, Google Earth Engine, Sentinel-5P, SO<sub>2</sub>, Lao Cai.*

---

@ Vietnam Mining Science and Technology Association