

XÂY DỰNG HỆ THỐNG GIÁM SÁT CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ TỈNH NINH THUẬN TỪ TƯ LIỆU ẢNH VỆ TINH VÀ DỮ LIỆU KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN NGUỒN MỎ

Đinh Bảo Ngọc¹, Dương Thị Hồng Yến², Lê Thị Kim Thoa²
Lê Đức Hoàng², Đào Thị Lưu², Phí Thị Thu Hoàng²
Ngô Thị Bích Hồng², Mai Quang Tuấn^{3,*}, Trịnh Xuân Quang⁴

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

⁴Phân hiệu Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội tại tỉnh Thanh Hóa

Tóm tắt

Các vấn đề về môi trường đặc biệt là môi trường không khí tác động lớn tới sức khỏe của người dân. Do đó đòi hỏi cần có sự giám sát thường xuyên, liên tục các nguồn phát thải để đưa ra những thông tin cảnh báo, khuyến nghị sớm nhất tới người dân trợ giúp công tác phòng ngừa và giảm thiểu tác động từ ô nhiễm không khí. Với mục đích cung cấp công cụ trợ giúp để giảm thiểu các tác động từ ô nhiễm không khí tới người dân nêu trên bài báo đã đề xuất quy trình công nghệ xây dựng hệ thống trên công nghệ WebGIS sử dụng Google Earth Engine thu thập và phân tích dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 5P đa thời gian kết hợp với dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở (cung cấp bởi Weather API) để thành lập bản đồ chất lượng không khí. Hệ thống được xây dựng trên nền tảng NodeJS miễn phí. Dữ liệu hệ thống được thu thập từ Google Earth Engine và “Weather API”; Lưu trữ và quản lý trong hệ quản trị cơ sở dữ liệu PostgreSQL, trực quan hóa sử dụng bộ thư viện Leaflet.

Từ khóa: Google Earth Engine; Sentinel 5P; Chất lượng không khí.

Abstract

Developing an air quality monitoring system in Ninh Thuan province from multi-temporal remote sensing image data and open-source hydrometeorological data

Environmental issues, especially the air environment, significantly impact people's health. Therefore, regular and continuous monitoring of emission sources is required to provide the earliest warning information and recommendations to people to help prevent and minimize the impacts of air pollution. To minimize the impacts of air pollution on the people mentioned above, the article proposed a technological process to build a system based on WebGIS technology; the system uses Google Earth Engine to collect and analyze data. Multi-temporal remote sensing Sentinel 5P combines with open-source hydrometeorological data (provided by Weather API) to create air quality maps. The system is built on the free NodeJS platform. System data is collected from Google Earth Engine and “Weather API”; Stored and managed in the PostgreSQL database management system, visualized using the Leaflet library.

Keywords: Google Earth Engine; Sentinel 5P; Air quality.

***Tác giả liên hệ, Email:** mqtu@hvn.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2024.584>

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm không khí có tác động trực tiếp tới sức khỏe của người dân và gián tiếp tới sự phát triển kinh tế của các địa phương trong cả nước. Do đó, việc theo dõi, đánh giá các chỉ số chất lượng không khí thường xuyên liên tục sẽ trợ giúp cho các nhà quản lý đưa ra các quy hoạch cho việc phát triển xây dựng các khu công nghiệp, khai khoáng, phát triển hạ tầng giao thông để giảm thiểu tối đa tới sức khỏe và đời sống của người dân. Tuy nhiên, việc quan trắc, giám sát chất lượng không khí hiện nay tập trung chủ yếu vào mạng lưới các trạm quan trắc mặt đất. Ưu điểm của phương pháp quan trắc trực tiếp dựa trên các trạm đo mặt đất là cung cấp số liệu thời gian thực và cho độ chính xác cao. Mặc dù đã được đầu tư và phát triển mạnh mẽ trong những năm gần đây, tuy nhiên số lượng các trạm quan trắc chất lượng không khí vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu, do mỗi trạm chỉ có thể đưa ra được các chỉ số về chất lượng không khí trong một phạm vi không gian khiêm tốn mà không phản ánh được xu thế và phân bố chất lượng không khí liên tục trên một khu vực rộng lớn. Ngoài ra, các trạm đo chủ yếu tập trung ở các thành phố lớn như Hà Nội hay thành phố Hồ Chí Minh, với các tỉnh đang phát triển thì số lượng các trạm rất ít và có tỉnh không có trạm tự động nào.

Viễn thám là một công cụ trợ giúp đắc lực cho việc giám sát các tham số môi trường, trong đó có các chỉ số chất lượng môi trường không khí. Với lợi thế có thể quan sát diện tích rộng trên bề mặt trái đất mà không cần cử người tới thực địa, ngoài ra với tư liệu ảnh viễn thám có thể truy xuất các sự kiện tai biến diễn ra trong

quá khứ trợ giúp việc đánh giá hậu quả và rút ra các kinh nghiệm trong việc phòng chống giảm thiểu tác động từ ô nhiễm không khí.

Hiện nay, Google Earth Engine là địa chỉ tin cậy cho phép người sử dụng truy cập kho tư liệu ảnh vệ tinh miễn phí lớn với nhiều loại ảnh vệ tinh với các thuộc tính kỹ thuật đa dạng. Hơn nữa, Google Earth Engine còn cung cấp các bộ công cụ, thư viện lập trình trợ giúp việc phân tích các yếu tố trên ảnh vệ tinh khá tốt. Ngoài cung cấp các bộ thư viện, công cụ, Google Earth Engine còn cung cấp các thuật toán học máy (machine learning) và học sâu (deep learning) phục vụ các bài toán như phân loại các đối tượng trên ảnh vệ tinh, giám sát theo dõi sự thay đổi các đối tượng trên mặt đất sử dụng ảnh vệ tinh lưu trữ, cập nhật trong kho dữ liệu. Mặc dù Google Earth Engine là nền tảng mạnh cung cấp dữ liệu và công cụ phân tích ảnh vệ tinh. Tuy nhiên, với các thư viện và công cụ kết hợp giữa 2 nguồn tư liệu ảnh vệ tinh và dữ liệu vector (shapefile hoặc geodatabase) khá hạn chế, điều đó làm giảm khả năng phân tích khi sử dụng dữ liệu bổ trợ ngoài hệ thống do người dùng cung cấp thêm.

Ngoài tư liệu ảnh viễn thám đa thời gian, hiện nay còn rất nhiều nguồn cung cấp dữ liệu khí tượng thủy văn trực tuyến được chia sẻ rộng rãi thông qua kỹ thuật Restful API. Các nguồn tư liệu này đa số được cung cấp từ cơ quan quản lý khí quyển và đại dương quốc gia Hoa Kỳ (NOAA) và hệ thống dự báo phổ toàn cầu (Global Forecast System - GFS) là một mô hình dự báo thời tiết được cung cấp bởi Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ (National Center for Environmental

Prediction - NCEP). Các số liệu trên được cập nhật thường xuyên sau 3 giờ, 6 giờ và 12 giờ đồng thời được dự báo 3 ngày, 6 ngày hoặc dài hơn. Các nguồn dữ liệu này cũng rất hữu ích giúp việc cung cấp dữ liệu giám sát gần theo thời gian thực về khí tượng thủy văn, đặc biệt là các chỉ số chất lượng không khí.

Từ những phân tích trên nhóm tác giả đã lựa chọn Google Earth Engine kết hợp với bộ thư viện phân tích không gian TurfJS và nguồn dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở được cung cấp từ trang Weather API (<https://www.weatherapi.com/>) để giám sát các chỉ số không khí tại tỉnh Ninh Thuận trong những khoảng thời gian khác nhau từ quá khứ tới hiện tại. Hệ thống được xây dựng trên các công nghệ mã nguồn mở như NodeJS cho việc kết nối với Google Earth Engine, cung cấp các dịch vụ bản đồ thông qua API; Cơ sở dữ liệu do người dùng cung cấp được lưu trữ trên hệ thống qua hệ quản trị cơ sở dữ liệu mã nguồn mở PostgreSQL.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Các nghiên cứu có liên quan

Hiện nay ở Việt Nam và trên thế giới có rất nhiều nghiên cứu ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám để giám sát chất lượng không khí như nghiên cứu sử dụng tư liệu ảnh Sentinel 2, Landsat 8 kết hợp với ảnh Sentinel 5P và MODIS, dữ liệu sau đó được xử lý và phân tích trên nền tảng Google Earth Engine để giám sát chất lượng không khí trong thời gian 24 giờ tại thành phố Hà Nội [1]. Một nghiên cứu gần tương tự cũng được áp dụng cho việc đánh giá ô nhiễm không khí tại mỏ đất Đắp Bàng thông qua sử dụng ảnh Sentinel 5 [2]. Điểm chung của các nghiên cứu trên

đã đưa ra được phương pháp trích xuất dữ liệu chất lượng không khí từ ảnh vệ tinh viễn thám và trực quan hóa trên bản đồ.

Một số nghiên cứu khác ứng dụng dữ liệu không gian địa lý (GIS) và các mô hình AERMOD để tính toán sự lan truyền chất gây ô nhiễm không khí nhằm đánh giá vùng ảnh hưởng và tác động của các thành phần ô nhiễm không khí [3]. Nghiên cứu này trình bày rõ phương pháp mô hình hóa môi trường, mô hình phát tán chất ô nhiễm từ nguồn điểm liên tục của Sittouk và một số mô hình lan truyền chất ô nhiễm.

Với các nghiên cứu trên có nhược điểm là thiếu tính linh động về khoảng thời gian theo dõi chất lượng không khí; Việc thu thập và lưu trữ dữ liệu chưa được thực hiện một cách tự động và thường xuyên, thời gian nhận dữ liệu là 24 giờ một lần, chưa đáp ứng được tính thời sự của dữ liệu, đồng thời đưa ra các báo cáo khuyến nghị; Nguồn dữ liệu đầu vào của phân tích dựa chủ yếu từ kho tư liệu của Google chưa sử dụng đến các dữ liệu không gian từ phía người dùng như hiện trạng sử dụng đất, dân cư,... dẫn tới tính thời sự của việc thống kê, phân tích chưa cao, chưa cung cấp bộ công cụ theo dõi chất lượng không khí tới các nhà quản lý.

2.2. Dữ liệu đầu vào và công nghệ WebGIS tự động trích xuất thông tin chất lượng không khí

2.2.1. Dữ liệu đầu vào của hệ thống

Nguồn tư liệu sử dụng cho hệ thống được thu thập từ 3 nguồn. Tư liệu ảnh vệ tinh Sentinel 5 được thu thập miễn phí từ kho dữ liệu của Google Earth Engine. Tư liệu khí tượng thủy văn và chất lượng không khí: Kinh phí phụ thuộc vào số lượt các yêu cầu truy cập dữ liệu của trang

website Weather API, miễn phí nếu lượt yêu cầu truy cập dữ liệu nhỏ hơn 1.000.000 lượt trên 1 tháng, với số lượt truy cập lớn hơn 1.000.000 lượt trên tháng sẽ bắt đầu tính phí. Các tư liệu từ các trạm quan trắc của Tỉnh do các đơn vị phối hợp cung cấp.

Sau đây là bảng so sánh các chỉ số chất lượng không khí giữa ảnh vệ tinh, Web WeatherAPI.com và QCVN 05:2023/BTNMT và chỉ số chất lượng không khí Ninh Thuận đang thực hiện.

Bảng 1. Danh mục các chỉ số chất lượng không khí được đánh giá từ các nguồn khác nhau

STT	Chỉ số	QCVN 05:2023/ BTNMT	Ninh Thuận	WeatherAPI. com	Ảnh vệ tinh	Ghi chú
1	SO ₂	X	X	X	X	Sentinel-5p
2	CO	X	X	X	X	
3	NO ₂	X	X	X	X	
4	O ₃	X	X	X	X	
5	TSP	X	X		X	Landsat
6	Bụi PM10	X		X		
7	Bụi PM2.5	X		X		
8	CH ₄			X	X	Sentinel-5p
9	CH ₂ O				X	Sentinel-5p

Theo QCVN 05:2023/BTNMT có 7 thông số về môi trường không khí [4]. Ninh Thuận hiện nay đang quan trắc 5/7 thông số cơ bản so với QCVN 05:2023/BTNMT. Ảnh viễn thám kết hợp với API có 7/7 thông số cơ bản so với QCVN 05:2023/BTNMT. Thông số được chiết suất là CH₄ không có trong QCVN 05:2023/BTNMT. Như vậy, việc ứng dụng công nghệ viễn thám kết hợp với API hỗ trợ tốt cho phương pháp quan trắc truyền thống. Cụ thể: Công nghệ viễn thám kết hợp với API cho kết quả quan trắc hàng ngày, còn phương pháp truyền thống quan trắc 2 tháng/lần đối với chất lượng môi trường không khí tại môi trường tác động, 01 tháng/lần đối với chất lượng môi trường không khí tại môi trường nền.

Các thông tin về thời tiết, môi trường không khí được thu thập thông qua WeatherAPI.com cung cấp quyền truy cập vào dữ liệu thời tiết và địa lý thông qua API dưới dạng JSON/ XML. Nó cho phép

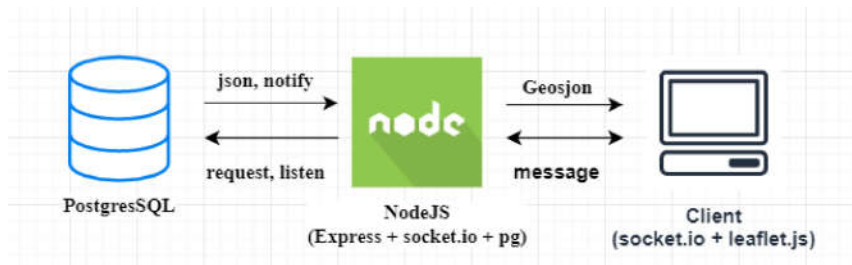
các nhà phát triển tạo các ứng dụng máy tính để bàn, web và di động bằng cách sử dụng dữ liệu này rất dễ dàng. WeatherAPI cung cấp dữ liệu sau thông qua API gồm 2 nhóm thông số:

Các thông số về khí tượng thủy văn gồm: Nhiệt độ, điều kiện thời tiết như sương mù, quang mây,... hướng gió, tốc độ gió, lượng mưa, độ ẩm, độ mây,...

Các tham số về chất lượng không khí gồm: CO, NO₂, O₃, SO₂, PM2.5, PM10. Dữ liệu này cung cấp thời gian thực (6 tiếng/1 lần); Dữ liệu dự báo thời tiết cho 14 ngày với bản có tính phí và 3 ngày với bản miễn phí, cung cấp dữ liệu lịch sử và thông tin cảnh báo thời tiết.

2.2.2. Sơ đồ công nghệ WebGIS giám sát chất lượng không khí tỉnh Ninh Thuận

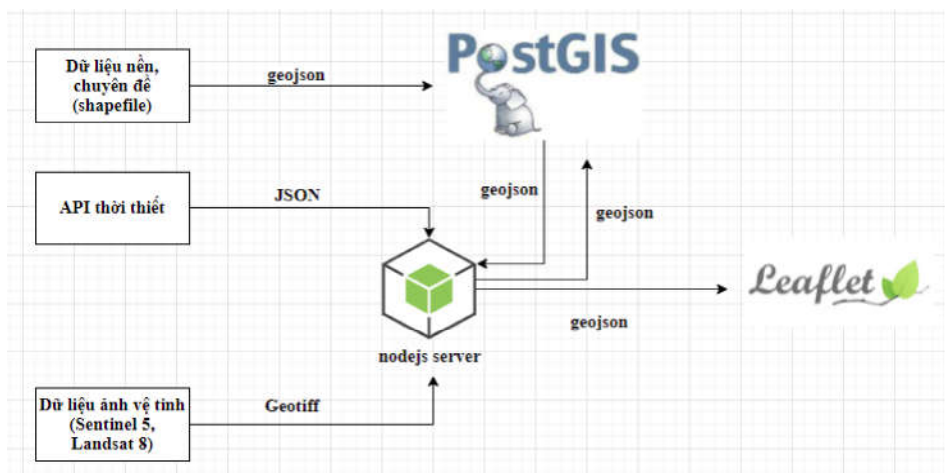
Hệ thống được xây dựng với sơ đồ hoạt động (Hình 1).



Hình 1: Sơ đồ hoạt động của hệ thống

Hệ thống sử dụng Express framework có nhiệm vụ tiếp nhận và phản hồi các yêu cầu từ trang web. Cơ sở dữ liệu hệ thống được sử dụng là dữ liệu định dạng JSON được trích xuất từ dữ liệu shapefile người dùng tải lên hệ thống. Các dữ liệu JSON này được lưu trữ trong PostgreSQL, hệ quản trị cơ sở dữ liệu được tích hợp để quản lý dữ liệu không gian địa lý. Máy chủ hệ thống xử lý dữ liệu thời gian thực bằng cách kết hợp thông báo và lắng nghe, hai phương pháp trong PostgreSQL và Socket.io, bộ thư viện trong NodeJS. Khi dữ liệu được

chèn hoặc cập nhật vào PostgreSQL, một “thông báo” bao gồm hai thành phần, thông báo và tải trọng, sẽ được gửi đến máy chủ. Máy chủ Nodejs sẽ sử dụng truy vấn “Listen” để lắng nghe các thông báo từ PostgreSQL. Khi một thông báo tồn tại, máy chủ NodeJS sẽ sử dụng socket.io để gửi tải trọng từ máy chủ đến các máy khách. Ngoài ra, hệ thống cũng cung cấp khả năng hiển thị, truy vấn dữ liệu bản đồ bằng cách truy vấn dữ liệu từ PostgreSQL dưới dạng GeoJson kết hợp với bộ thư viện leaflet (Hình 2).



Hình 2: Sơ đồ hoạt động chi tiết của hệ thống

Dữ liệu nền và chuyên đề sẽ được lưu trữ trong hệ quản trị CSDL PostgreSQL. Các dữ liệu này sẽ thông qua NodeJS Server chuyển đổi sang dạng GeoJson và kết hợp với bộ thư viện trực quan hóa dữ liệu không gian Leaflet để hiển thị bản đồ trên nền WebGIS.

Dữ liệu về thời tiết sẽ được gọi từ API của nhà cung cấp, dữ liệu này sẽ được phân tích và chuyển đổi dữ liệu về dạng JSON thông qua Server NodeJS. Dữ liệu được trích xuất chứa thông tin về tọa độ điểm, thông tin thời tiết và chỉ số không khí sẽ được kết hợp với bộ thư

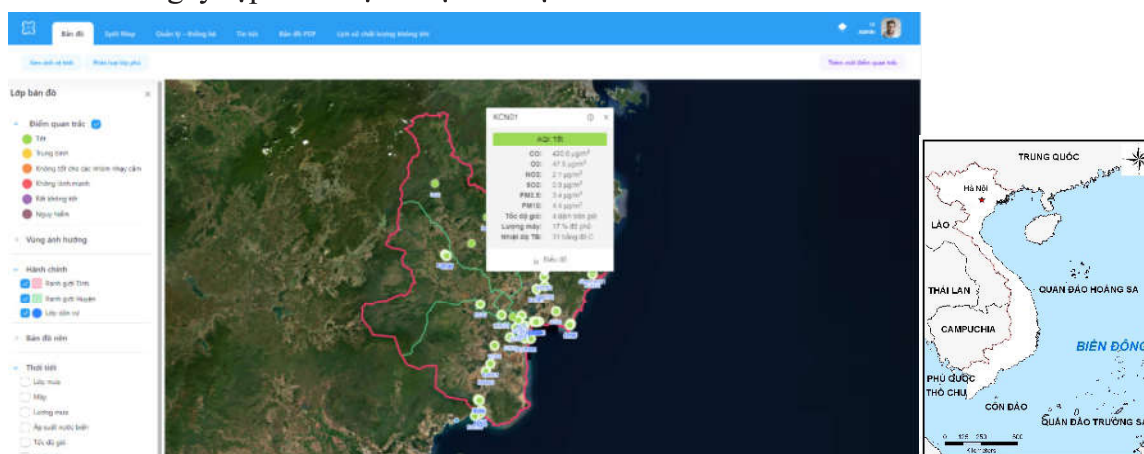
viện Leaflet hiển thị trên bản đồ trên nền WebGIS.

3. Kết quả

3.1. Kết quả bản đồ hiển thị dữ liệu chất lượng không khí từ nguồn mở Weather API

Các điểm màu xanh thể hiện trên bản đồ là 32 điểm quan trắc được nhóm tác giả lựa chọn bao gồm các khu công nghiệp, mỏ khoáng sản, các nút giao thông của tỉnh Ninh Thuận phục vụ việc quan trắc (Hình 3). Ngoài ra, người quản lý có thể thêm mới các điểm quan trắc trực tiếp trên bản đồ và ngay lập tức nhận được số liệu

từ trạm vừa được thêm đó thông qua chức năng thêm mới trạm được cung cấp bởi hệ thống. Màu sắc của các điểm sẽ thể hiện mức độ ô nhiễm không khí tại các điểm đó với thang chú giải góc trên bên trái màn hình như xanh lá cây thể hiện chỉ số không khí tốt, màu vàng thể hiện trung bình, màu cam không tốt cho nhóm nhạy cảm,... Ngoài ra khi người dùng bấm vào từng điểm sẽ có cửa sổ hiển thị chi tiết các thông số không khí như CO, O₃, PM10, PM2.5,... Dữ liệu các trạm quan trắc này sẽ được tự động ghi lại 1 tiếng 1 lần và được quản lý trên hệ thống với giao diện ở Hình 4.



Hình 3: Trang bản đồ hiển thị các vị trí giám sát chất lượng không khí

Lịch sử chất lượng không khí								
Lịch sử chất lượng không khí của các điểm quan trắc								
Tên điểm quan trắc	AQI	Thời gian	CO (ppm)	O3 (ppm)	NO2 (ppm)	SO2 (ppm)	PM2.5 (ppm)	PM10 (ppm)
K303	Tốt	26/05/2024 - 11:00	347.1	16.5	1	0.1	5.1	14
LN21	Tốt	26/05/2024 - 11:00	347.1	16.5	1	0.1	5.1	14
CO4	Tốt	26/05/2024 - 11:00	347.1	16.5	1	0.1	5.1	14
test2	Tốt	26/05/2024 - 11:00	467.3	13.2	6.6	1.6	6.8	10.3
K304	Tốt	26/05/2024 - 11:00	347.1	16.5	1	0.1	5.1	14
K302	Tốt	26/05/2024 - 11:00	340.7	61.3	4.6	2	6.7	10.9
CON01	Tốt	26/05/2024 - 11:00	340.7	61.3	4.6	2	6.7	10.9
GT3	Tốt	26/05/2024 - 11:00	340.7	61.3	4.6	2	6.7	10.9
KDC03	Tốt	26/05/2024 - 11:00	467.3	13.2	6.6	1.6	6.8	10.3

Hình 4: Trang quản trị dữ liệu thu thập từ các trạm

Nghiên cứu

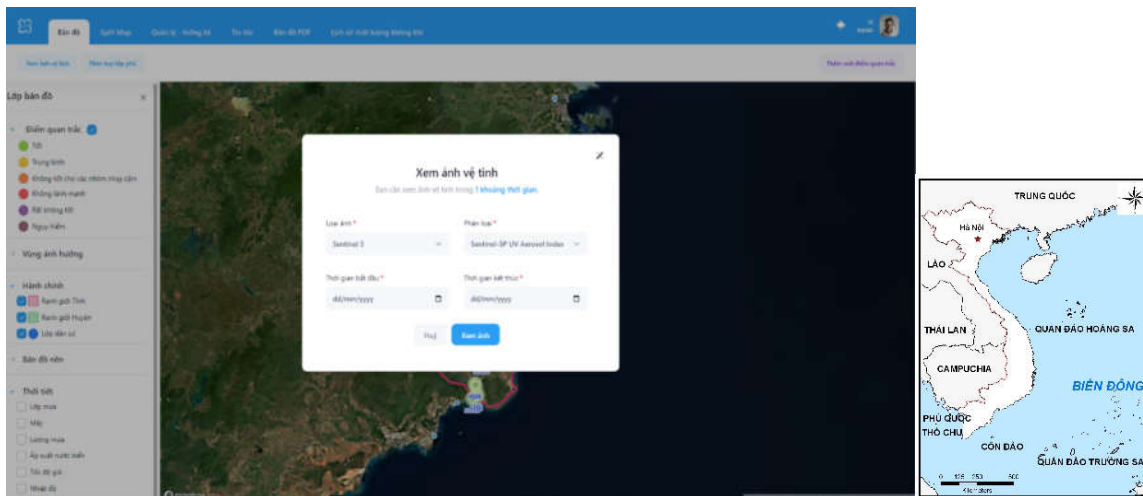
Dữ liệu lưu trữ có thể được trích xuất dưới dạng Excel để phục vụ công tác báo cáo hoặc chia sẻ dữ liệu.

3.2. Kết quả bản đồ dữ liệu chất lượng không khí kết hợp tư liệu ảnh vệ tinh và khí tượng thủy văn nguồn mở

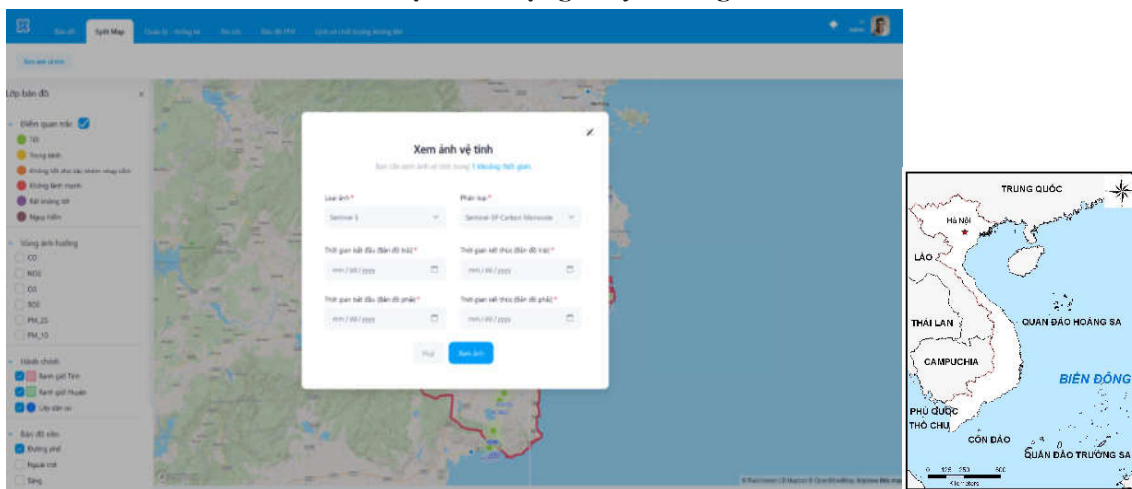
Ảnh vệ tinh được sử dụng trong hệ thống là ảnh Sentinel 5P. Người dùng có thể chọn khoảng thời gian xem ảnh, đồng

thời có thể tải ảnh vệ tinh về để phục vụ cho việc phân tích chuyên sâu hơn. Hình 5 thể hiện giao diện tải ảnh vệ tinh.

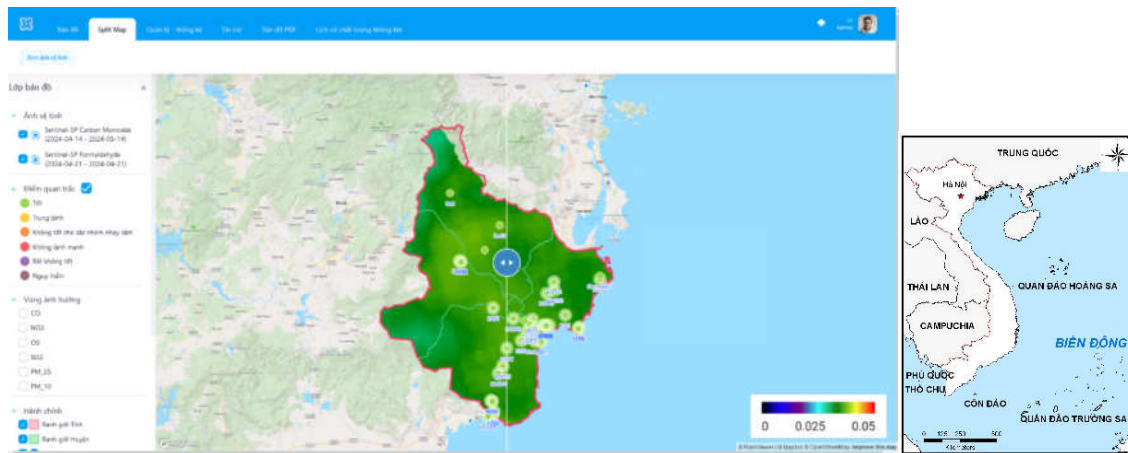
Ngoài cho phép tìm kiếm ảnh vệ tinh tại 1 khoảng thời gian, hệ thống còn cho phép người dùng đánh giá sự thay đổi các thành phần không khí giữa 2 khoảng thời gian khác nhau trợ giúp các nhà quản lý đánh giá sự thay đổi cùng 1 khu vực qua 2 khoảng thời gian (Hình 6).



Hình 5: Trang giám sát chất lượng không khí sử dụng ảnh vệ tinh kết hợp với thông tin từ dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở



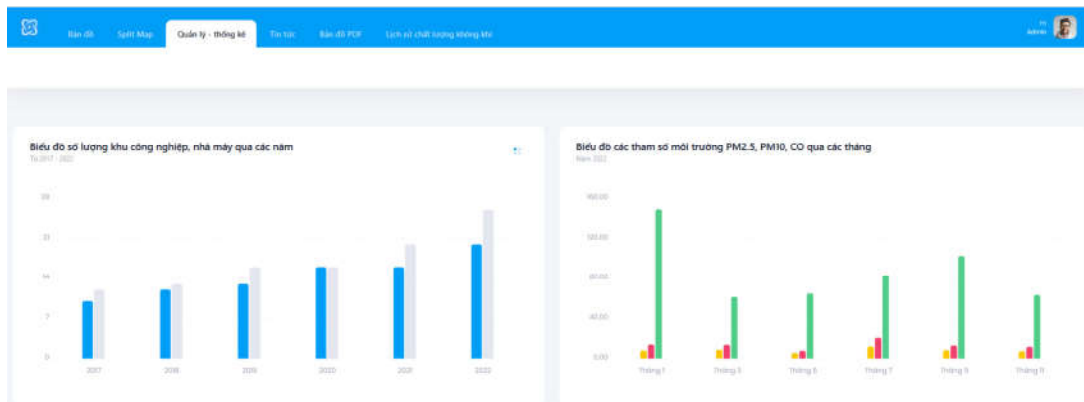
Hình 6: Trang giám sát chất lượng không khí sử dụng ảnh vệ tinh kết hợp với thông tin từ dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở tại 2 khoảng thời gian khác nhau của cùng một khu vực



Hình 7: Trang giám sát chất lượng không khí sử dụng ảnh vệ tinh kết hợp với thông tin từ dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở tại 2 khoảng thời gian khác nhau của cùng một khu vực với thông số giám sát là CO thời gian giám sát ảnh trái là 14 đến 21 tháng 4 năm 2024, ảnh phải thời gian 14 đến 21 tháng 5 năm 2024

Người dùng có thể sử dụng thanh kéo trượt giữa màn hình để quan sát sự thay đổi của thành phần CO giữa 2 khoảng thời gian (Hình 7). Ngoài ra, hệ thống cũng cung cấp chức năng thống kê qua biểu đồ

để trợ giúp các nhà quản lý có thể quản lý được các thông tin về nguồn phát thải không khí, chỉ số chất lượng không khí thay đổi theo thời gian được thể hiện qua Hình 8.



Hình 8: Chức năng thống kê dạng biểu đồ của hệ thống

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đưa ra giới thiệu phương pháp sử dụng Google Earth Engine để trợ giúp theo dõi chất lượng không khí trên tư liệu ảnh vệ tinh Sentinel 5 kết hợp với dữ liệu khí tượng thủy văn nguồn mở. Nghiên cứu này đã xây dựng hệ thống cho phép người dùng có thể thực hiện các theo dõi tại nhiều khu vực khác nhau trên địa bàn tỉnh Ninh Thuận tại các khoảng thời gian khác nhau.

Ngoài ra dữ liệu sau khi phân tích cũng được hệ thống cho phép người dùng tải về hoặc lưu trữ vào cơ sở dữ liệu phục vụ cho các phân tích chuyên sâu hoặc làm cơ sở so sánh, đối chiếu với thực địa.

Lời cảm ơn: Bài báo này là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài “Nghiên cứu ứng dụng ảnh vệ tinh quang học kết hợp công nghệ GIS trong quản lý, giám sát các nguồn phát thải không khí

tại tỉnh Ninh Thuận”. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sự phối hợp của Sở KH&CN Ninh Thuận, Sở TN&MT Ninh Thuận và các đơn vị liên quan trong quá trình thực hiện đề tài và bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đỗ Thị Phương Thảo, Vũ Thị Phương Thảo, Vũ Khánh Tường Vân (2022). *Nghiên cứu ứng dụng Big Data - viễn thám trong xây dựng bản đồ chất lượng không khí AQI 24h khu vực Hà Nội*. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường. Số 44, tr. 129 - 140.

[2]. Lương Ngọc Dũng, Bùi Duy Quỳnh, Trần Đình Trọng, Ngô Văn Dũng, Trần Xuân Dữ, Hoàng Thị An, Lưu Văn Điệp, Bùi Đình

Ngọc (2023). *Nghiên cứu giải pháp đánh giá ô nhiễm không khí khu vực khai thác mỏ đất đắp bằng tư liệu ảnh vệ tinh Sentinel-5P TROPOMI*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 17 (1V): 62 - 74.

[3]. Đậu Văn Hùng, Phạm Thanh Long, Lê Hoàng Nghiêm (2024). *Ứng dụng mô hình AERMOD mô phỏng sự lan truyền các chất ô nhiễm không khí từ khu công nghiệp Phú Tài tỉnh Bình Định*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. 758, 72 - 86.

[4]. QCVN 05:2023/BTNMT: Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về chất lượng không khí.

BBT nhận bài: 31/5/2024; Phản biện xong: 07/6/2024; Chấp nhận đăng: 28/6/2024