

Bài báo khoa học

## Mối quan hệ thực nghiệm giữa PM<sub>2.5</sub> và độ sâu quang học aerosol AOD ở khu vực nội thành Hà Nội

Nguyễn Hải Đông<sup>1\*</sup>, Doãn Hà Phong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Triển khai công nghệ viễn thám, Cục Viễn thám quốc gia;  
nguyendong.rsc@gmail.com

<sup>2</sup> Phòng Nghiên cứu Công nghệ Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Viện Khoa học  
Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu; doanhaphong@gmail.com

\* Tác giả liên hệ: nguyendong.rsc@gmail.com; Tel.: +84-912556868

Ban Biên tập nhận bài: 12/8/2020; Ngày phản biện xong: 25/9/2020; Ngày đăng bài: 25/10/2020

**Tóm tắt:** Dữ liệu viễn thám cho phép nghiên cứu chất lượng không khí không chỉ theo không gian mà còn gần thời gian thực trong quản lý và giám sát chất lượng không khí. Nghiên cứu này xây dựng mối quan hệ giữa độ sâu quang học aerosol (AOD) được ước tính từ dữ liệu vệ tinh ở độ phân giải không gian 3 km x 3 km với nồng độ các hạt mịn có đường kính  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) được quan trắc tại các trạm trên mặt đất ở khu vực nội thành Hà Nội. Kết quả của nghiên cứu đã xác định được số liệu quan trắc PM<sub>2.5</sub> tại 10 điểm quan trắc và sản phẩm AOD chiết suất từ dữ liệu vệ tinh MODIS có mối tương quan khá tốt: sự thay đổi 1% của AOD dẫn đến sự thay đổi 0,52% và 0,39% của PM<sub>2.5</sub> được theo dõi trong khoảng thời gian  $\pm 45$  và 150 phút của thời gian vệ tinh vượt qua khu vực.

**Từ khóa:** PM<sub>2.5</sub>; AOD; Độ sâu quang học; Viễn thám.

### 1. Mở đầu

Dữ liệu vệ tinh ghi lại bức xạ điện từ bề mặt trái đất, khi bức xạ đi qua bầu khí quyển, nó tương tác với các hạt rắn và lỏng mịn như sol khí lơ lửng trong không khí trước khi đến được cảm biến gắn trên vệ tinh. Sự biến dạng do tương tác này gây ra có thể được ước tính với sự hỗ trợ của mô hình truyền bức xạ và được chuyển đổi thành sol khí, còn được gọi là độ sâu quang học sol khí (AOD), cho thấy mối quan hệ tích cực mạnh mẽ với PM<sub>2.5</sub> được quan sát trên bề mặt [1–2].

Có nhiều quy chuẩn đo chất lượng không khí khác nhau, tuy nhiên, các hạt lơ lửng, đặc biệt là PM<sub>2.5</sub> và PM<sub>10</sub>, đã được chấp nhận rộng rãi để đánh giá về chất lượng không khí [3]. Do đó, thuật ngữ chất lượng không khí sẽ đề cập đến nồng độ PM<sub>2.5</sub> của môi trường xung quanh trong các phần còn lại của nghiên cứu này.

Do số liệu quan trắc ô nhiễm không khí trên bề mặt ở Hà Nội không mang tính toàn diện, bị hạn chế về mặt không gian (số lượng và mật độ điểm quan trắc, hiện tại có 10 trạm quan trắc trên diện tích của Hà Nội là 3.359 km<sup>2</sup>), vị trí các trạm tập trung trong khu vực nội thành (Hình 1). Vì vậy việc xem xét mối quan hệ giữa AOD và PM<sub>2.5</sub> ở khu vực nội thành Hà Nội là cần thiết, mối quan hệ này sẽ mang lại một phương pháp mới có cơ sở khoa học để ước tính nồng độ PM<sub>2.5</sub> những khu vực chưa có trạm quan trắc.

Nghiên cứu này xác định cơ sở để ước tính nồng độ PM<sub>2.5</sub>, cung cấp số liệu mang tính toàn diện dựa trên mối quan hệ AOD và PM<sub>2.5</sub>, nghiên cứu có hai mục tiêu chính: (1) Thiết lập mối quan hệ thực nghiệm giữa AOD được trích xuất từ dữ liệu vệ tinh và nồng độ PM<sub>2.5</sub>

được quan trắc trên bề mặt khu vực nội thành Hà Nội; (2) Xác định xem AOD có thể ước tính hiệu quả nồng độ  $PM_{2.5}$  trên bề mặt ở độ phân giải không gian cao hơn hay không.

## 2. Dữ liệu và phương pháp

### 2.1. Dữ liệu

Dữ liệu sử dụng cho nghiên cứu gồm hai nguồn: (1) Các trạm quan trắc chất lượng không khí ở khu vực nội thành Hà Nội, (2) Sản phẩm số liệu AOD thu được từ vệ tinh viễn thám MODIS Terra có độ phân giải trung bình.

#### 2.1.1 Dữ liệu quan trắc $PM_{2.5}$

Dữ liệu nồng độ  $PM_{2.5}$  được thu thập tại 10 trạm quan trắc (thông tin của các trạm này được cung cấp trong Bảng 1, trong đó có 02 trạm quan trắc cố định: trạm Trung Yên và trạm Minh Khai, và 08 trạm quan trắc tự động là các trạm còn lại (Hình 1) trong khu vực nghiên cứu từ ngày 01 tháng 9 năm 2019 đến ngày 31 tháng 10 năm 2019. Các vị trí của trạm quan trắc chất lượng không khí được tác giả sử dụng trên hệ thống có sẵn của Chi Cục bảo vệ môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội. Tại mỗi địa điểm quan trắc, số liệu được thu nhận cứ mỗi giờ từ 00 giờ đến 23 giờ hàng ngày bao gồm nồng độ  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ , CO, nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, hướng gió và áp suất bề mặt. Mặc dù vậy, dữ liệu cho phân tích được trích xuất với ba điều kiện: (1)  $\pm 150$  phút thời gian vệ tinh vượt qua khu vực nghiên cứu, thường là 10:30 sáng giờ địa phương, để giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu thời gian trong các phép đo PM trên mặt đất; (2) trong tháng 9 và tháng 10 năm 2019 để giảm thiểu ảnh hưởng của điều kiện thời tiết lên AOD, vì AOD rất nhạy cảm với điều kiện thời tiết [4] và chỉ những tháng này ở Hà Nội mới được quan sát trong điều kiện thời tiết tương đối ổn định; (3) độ ẩm tương đối  $\leq 50\%$  vì kích thước hạt và khối lượng của nó phồng lên đáng kể khi độ ẩm tương đối lớn hơn 50% và ảnh hưởng đến nồng độ PM.

**Bảng 1.** Thống kê thông tin mô tả các trạm quan trắc trong khu vực nghiên cứu.

TT	Tên trạm	Kí hiệu trạm	Mã trạm	Địa chỉ	Tọa độ
1	Chi cục BVMT Hà Nội	SAM_01	S01	17 Trung Yên 3, Trung Hoà, quận Cầu Giấy, Hà Nội.	21°00'54.72" 105°47'59.64"
2	Minh Khai - Bắc Từ Liêm	SAM_02	S02	UBND Phường Minh Khai, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội	21°03'00" 105°44'24.00"
3	Hoàn Kiếm	HK	122	Công An quận Hoàn Kiếm	21°01'34.68" 105°51'05.40"
4	Hàng Đậu	HD	116	Công An phường Hàng Mã	21°02'23.64" 105°50'50.28"
5	Kim Liên	KL	119	Trường mầm non Kim Liên	21°00'26.64" 105°50'08.88"
6	Thành Công	TC	101	Công viên hồ Thành Công	21°01'10.92" 105°48'52.92"
7	Tân Mai	TnM	113	UBND Phường Hoàng Minh Thụ	20°59'17.88" 105°51'17.64"
8	Mỹ Đình	MD	110	Công ty điện lực Nam Từ Liêm	21°01'36.84" 105°46'23.16"
9	Phạm Văn Đồng	PVD	107	36A, Phạm Văn Đồng	21°03'00" 105°46'55.20"
10	Tây Mỗ	TyM	104	Tây Mỗ, Nam Từ Liêm	21°00'20.88" 105°44'54.60"

Các yếu tố được quan trắc:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ , CO,  $SO_2$ ,  $O_3$ , nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, lượng mưa, hướng gió, áp suất, bức xạ (tuy nhiên có thời điểm số liệu không được đầy đủ do điều kiện khách quan).



Hình 1. Vị trí các trạm quan trắc trên mặt đất khu vực nội thành Hà Nội.

### 2.1.2 Dữ liệu vệ tinh

Sản phẩm AOD được chiết suất từ dữ liệu vệ tinh MODIS theo công thức:

$$\rho_{\lambda}^{LUT}(\tau_{0.55}^{tot}) = \eta \rho_{\lambda}^f(\tau_{0.55}^{tot}) + (1 - \eta) \rho_{\lambda}^c(\tau_{0.55}^{tot}) \quad (1)$$

Điều đó có nghĩa là độ phản xạ quang phổ đo được từ vệ tinh tương ứng với giá trị LUT (LUT – the continental model lookup table – bảng tra cứu mô hình lục địa),  $\rho_{\lambda}^{LUT}(\tau_{0.55}^{tot})$  cho xác định các giá trị của  $\eta$  và  $\tau_{0.55}^{tot}$ , là giá trị trung bình có trọng số của các giá trị phản xạ đối với khí quyển với chế độ mịn tinh khiết “f” và độ dày quang học  $\tau_{0.55}^{tot}$  và độ phản xạ của bầu khí quyển ở chế độ thô tinh khiết “c” cũng với cùng mức  $\tau_{0.55}^{tot}$  [4], với  $\tau_{0.55}^f = \tau_{0.55} \eta_{0.55}$  là độ sâu quang học ở chế độ mịn và  $\tau_{0.55}^c = \tau(1 - \eta_{0.55})$  là độ sâu quang học ở chế độ thô. Sản phẩm AOD chiết suất từ dữ liệu vệ tinh MODIS được cung cấp tại website: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod04.php> trong các tháng 9 và 10 năm 2019 do điều kiện thời tiết ổn định trong 2 tháng này. Trong khoảng thời gian 2 tháng này, các giá trị AOD được truy xuất ở độ phân giải không gian 3 km x 3 km từ hình ảnh không có mây trong cùng khoảng thời gian thực hoặc gần thực (sau 3 hay 4 tiếng).

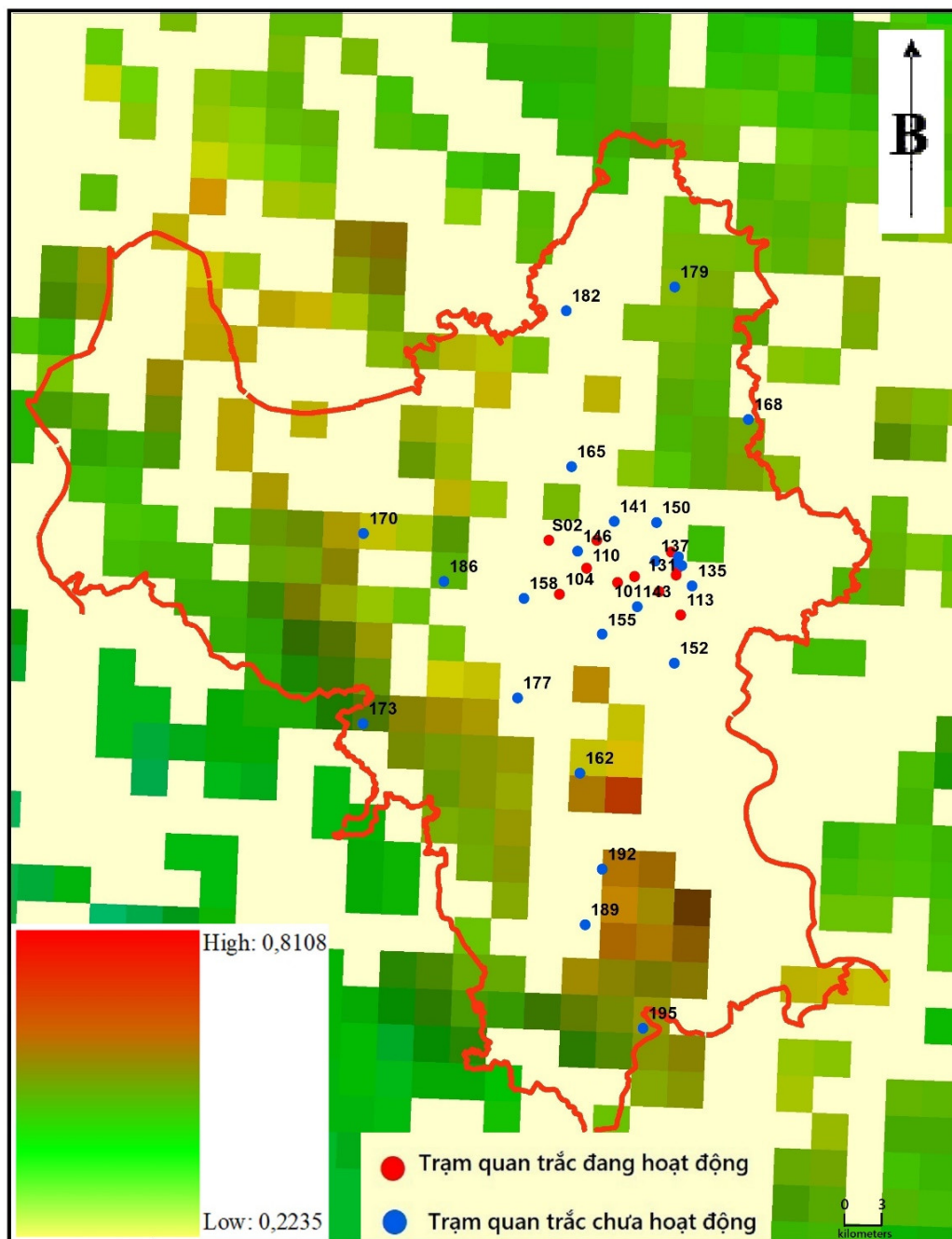
### 2.1.3 Tích hợp dữ liệu

Dữ liệu PM<sub>2.5</sub> được thu thập tại 10 điểm quan trắc là dữ liệu dạng điểm và số liệu AOD MODIS ở độ phân giải pixel 3 km x 3 km tại điểm chụp thẳng đứng (nadir) dạng tổng cột (4 chiều: x, y, z và t). Do đó, dữ liệu được tích hợp bằng cách sử dụng mối quan hệ một – nhiều (một giá trị AOD như nhau cho tất cả các điểm quan trắc trong một pixel bán kính 3 km (Hình 2) và nhiều điểm (giá trị trung bình của PM tại các điểm quan trắc với giá trị AOD của một pixel).

Gán giá trị AOD với giá trị PM<sub>2.5</sub> tại trạm quan trắc để xây dựng mối quan hệ là một hàm tương quan, được gọi là phân tích mức điểm trong phần tiếp theo. Khi thực hiện phân tích tổng hợp, tức là lấy trung bình của dữ liệu quan trắc PM<sub>2.5</sub> trong một pixel (3 km x 3 km) để phù hợp với độ phân giải không gian của số liệu AOD cho phép đánh giá mối liên quan giữa

AOD và  $PM_{2.5}$  mà không làm mất độ phân giải không gian của dữ liệu điểm. Đây sẽ được gọi là phân tích tổng hợp trong phần tiếp theo.

Hình 2 thể hiện kết quả của dữ liệu được tích hợp theo phương pháp trình bày ở trên, trong đó giá trị AOD và  $PM_{2.5}$  được thể theo thang bảng màu của các pixel trong hình. Khu vực phía tây Hà Nội thể hiện nồng độ  $PM_{2.5}$  cao hơn các khu vực khác.



**Hình 2.** Tổng hợp AOD và  $PM_{2.5}$  ước tính tại các trạm quan trắc.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Aerosol (sol khí) là các hạt rắn và lỏng lơ lửng trong không khí. AOD có thể được định nghĩa là sự suy giảm ánh sáng do sự hiện diện của sol khí trong khí quyển. Các dải quang phổ nhìn thấy được của các vệ tinh viễn thám khác nhau đã được sử dụng để ước tính AOD trên cả bề mặt nước và mặt đất [5–7]. Về bản chất, AOD tại một vị trí nhất định là logarit của tỷ số bức xạ ở đỉnh khí quyển và bức xạ ở bề mặt. Ảnh hưởng của sol khí (do tán xạ hoặc hấp thụ)



trên các chiều xạ được ghi lại bởi cảm biến được tính toán bằng mô hình truyền bức xạ [1,6,8].

Việc tính toán, truy suất aerosol trên khu vực đất liền phức tạp hơn so với trên biển, vì bề mặt đất có sự thay đổi lớn, từ thảm thực vật đến sa mạc và các vùng có tuyết hoặc băng bao phủ. Các hạt mịn ở bước sóng 2,1  $\mu\text{m}$  (tức là hiệu ứng aerosol tối thiểu) cho phép quan sát trực tiếp bề mặt trái đất để ước tính độ phản xạ bề mặt trong vùng nhìn thấy quang phổ [4]. AOD MODIS được ước tính ở bước sóng 0,47  $\mu\text{m}$  và 0,66  $\mu\text{m}$  bằng cách so khớp độ phản xạ trung bình (sau khi sàng lọc các điểm ảnh mây) trên lưới 3 km x 3 km với giá trị được tính toán trước trong cùng một điều kiện. Nhìn chung, sai số lần lượt nằm trong khoảng  $\Delta\tau = \pm 0,05\tau$  và  $\Delta\tau = \pm 0,20\tau$  đối với các vùng thực vật và bán thực vật [1].

Mối liên hệ giữa AOD và  $\text{PM}_{2.5}$  quan sát được ở bề mặt là thông qua sự tích hợp của các lớp hạt từ bề mặt đến đỉnh của khí quyển. Các mối tương quan tốt giữa AOD và  $\text{PM}_{2.5}$  thường được tìm thấy nếu các hạt nằm trong lớp ranh giới (vì chúng được trộn đều). Các hạt đơn lẻ có trong khí quyển, chẳng hạn như khói hoặc bụi từ quá trình vận chuyển tầm xa, không có (hoặc kém) tương quan với PM đo được ở bề mặt.

Các mô hình hồi quy được sử dụng để kiểm tra mối liên hệ giữa AOD ước tính từ dữ liệu vệ tinh và nồng độ PM quan trắc được trên mặt đất. Trong phương pháp phân tích tổng hợp,  $\text{PM}_{2.5}$  trung bình trong phạm vi 3 km x 3 km của pixel thứ  $j$  (AOD) được mô hình hóa như một hàm của AOD ở pixel thứ  $j$  và điều kiện thời tiết như trong phương trình (2):

$$\text{PM}_j = \alpha + \beta\tau_j + \lambda w'_j + \phi\sigma_{\text{PM}_j}^2 + \varepsilon_j \quad (2)$$

Trong đó  $\text{PM}_j$  là PM trung bình cho pixel thứ  $j$ ;  $\tau_j$  là giá trị AOD được ước tính từ dữ liệu MODIS tại vị trí thứ  $j$ ;  $w'_j$  là ma trận của các yếu tố gây nhiễu, bao gồm độ ẩm và nhiệt độ tương đối;  $\sigma_{\text{PM}_j}^2$  là phương sai, còn được gọi là nhiễu trong pixel; và  $\varepsilon_j$  là lỗi ngẫu nhiên không được quan sát.

Trong phân tích mức điểm, giá trị PM tại vị trí quan trắc thứ  $i$  nằm ở pixel thứ  $j$  được mô hình hóa như một hàm của AOD( $\tau$ ) cho pixel chứa vị trí quan trắc thứ  $i$  và các yếu tố gây nhiễu, hàm này có dạng như trong phương trình (3). Vì tất cả các điểm quan trắc trong một pixel được gán cùng một giá trị AOD, dẫn đến tương quan giữa các pixel trong AOD không đồng nhất, do đó tính chất ngẫu nhiên trong phân tích tổng hợp được đưa vào để tính toán các ước tính không phụ thuộc vào pixel, như trong phương trình (3):

$$\text{PM}_j = \alpha + \beta\tau_j + \lambda w_{ij} + (\sigma_j + \varepsilon_{ij}) \quad (3)$$

Trong đó  $\sigma_j$  là tính chất ngẫu nhiên trong phân tích tổng hợp. Khi đó sai số tương quan của chúng được tính theo công thức (4):

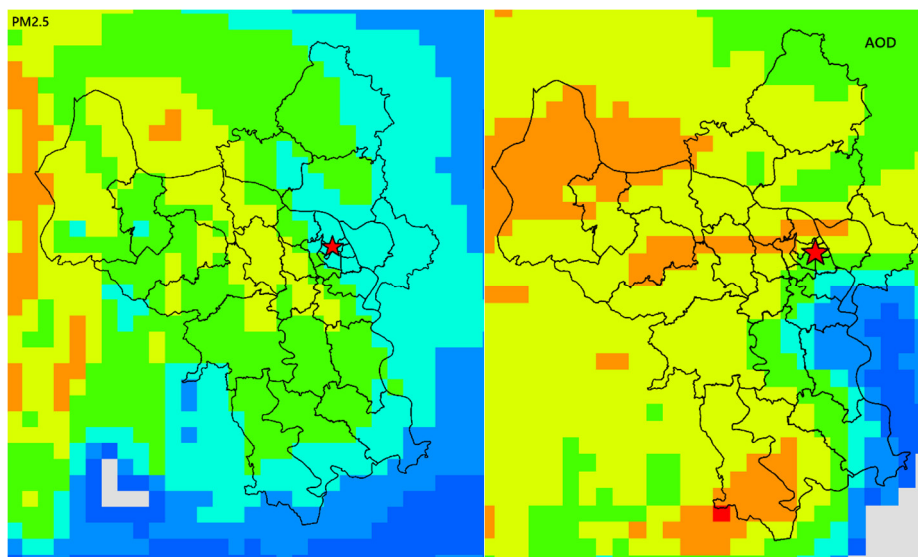
$$R_{\text{pixel}}^2 = \frac{1 - \text{Var}(\delta_j)}{\text{Var}(\text{PM}_{ij}) - \text{Var}(\varepsilon_{ij})} \quad (4)$$

Việc đánh giá trực tiếp khả năng ước tính của mô hình rất phức tạp do các phép đo PM ở độ phân giải khác với các giá trị AOD thu được từ vệ tinh. Vấn đề là chúng ta chỉ có một mẫu nhỏ quan trắc PM ở độ phân giải của pixel và do đó  $R^2$  từ phương trình (4) là đánh giá tương quan ở mức nhất định giữa các giá trị PM trung bình trên tất cả các vị trí quan trắc trong một pixel AOD.

### 3. Kết quả

Giá trị  $\text{PM}_{2.5}$  bề mặt và AOD ước tính từ dữ liệu MODIS được tính trung bình trong tháng 9 năm 2019 (Hình 3) có một số điểm tương đồng, cả hai đều có giá trị cao ở các khu vực xung quanh nội đô Hà Nội. Với AOD ước tính ở độ phân giải không gian 3 km x 3 km và PM tại vị trí quan trắc, trong khi nồng độ PM thay đổi rất nhiều ở khu vực nội đô Hà Nội, nồng độ

AOD thay đổi đáng kể ở xung quanh nội đô Hà Nội, mặc dù phương sai AOD nhỏ hơn nhiều so với phương sai của PM (Bảng 2). Nồng độ trung bình của PM<sub>2.5</sub> từ tháng 9 đến tháng 10 năm 2019 ở khu vực Hà Nội được ghi lại là 82,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  và 268,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Các phép đo AOD trung bình ở khu vực Hà Nội trong các tháng 9 và 10 năm 2019 được ước tính là 0,64 và 0,72 ở độ phân giải 3 km x 3 km, tương ứng. Bảng 3 cho thấy sự suy giảm dần của AOD trung bình với khoảng cách tăng dần tính từ trung tâm thành phố: nồng độ AOD giảm từ 0,664 trong 12 km xuống 0,545 trong khoảng 60 km từ trung tâm thành phố.



**Hình 3.** Bề mặt nội suy theo phân tích mức điểm (bên trái) và phân tích tổng hợp (bên phải) trung bình tháng 9 năm 2019.

**Bảng 2.** Thống kê mô tả PM<sub>2.5</sub> và AOD trong khu vực nghiên cứu.

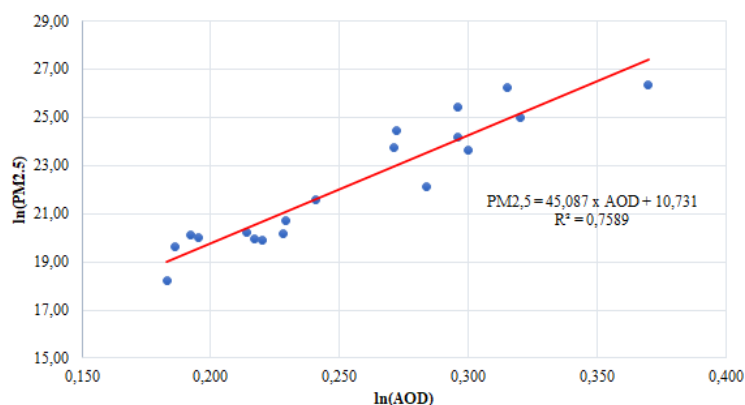
Tham số thống kê	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	AOD
Nhỏ nhất (Min)	30,5	0,548
Lớn nhất (Max)	268,4	0,714
Trung bình (Mean)	82,9	0,647
Độ lệch (Skewness)	1,8	-0,059
Hệ số biến thiên (Coefficient of variation)	46,9	5,90

**Bảng 3.** Sự phân bố của AOD và PM<sub>2.5</sub>.

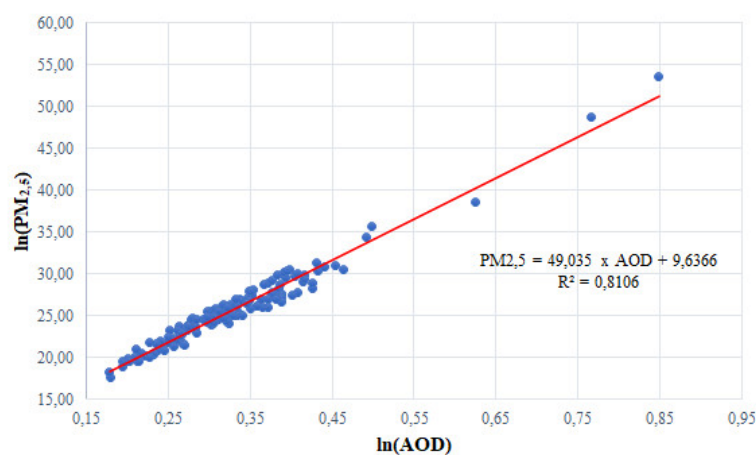
Khoảng cách từ trung tâm thành phố (km)	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	AOD
12	75 $\pm$ 7,5	0,664 $\pm$ 0,040
24	99 $\pm$ 16,8	0,649 $\pm$ 0,028
36	103 $\pm$ 37,6	0,600 $\pm$ 0,020
48		0,576 $\pm$ 0,018
60		0,545 $\pm$ 0,013

Trong phân tích sơ bộ, PM<sub>2.5</sub> được hồi quy cùng AOD ở độ phân giải không gian 3 km x 3 km, kết quả hồi quy của các phân tích mức điểm (Hình 4) và tổng hợp (Hình 5) lần lượt được trình bày trong Bảng 4 và 5. Tuy nhiên, thời gian của các phép đo PM<sub>2.5</sub> trên mặt đất sẽ không khớp với thời gian vệ tinh vượt qua khu vực, do đó, độ không tương thích trong mối

liên kết AOD–PM<sub>2.5</sub> có khả năng tăng lên khi thời gian quan sát PM<sub>2.5</sub> lệch với thời gian vệ tinh vượt qua khu vực tăng lên.



**Hình 4.** Mối quan hệ giữa AOD và PM<sub>2.5</sub> phân tích mức điểm trong khu vực và thời gian nghiên cứu.



**Hình 5.** Mối quan hệ giữa AOD và PM<sub>2.5</sub> phân tích tổng hợp trong khu vực và thời gian nghiên cứu.

**Bảng 4.** Hồi quy PM<sub>2.5</sub> trên AOD, áp suất mực nước biển trung bình và độ ẩm tương đối ở độ phân giải 3 km x 3 km: phân tích mức điểm (cùng một giá trị AOD được gán cho tất cả các điểm quan trắc trong pixel AOD).

PM <sub>2.5</sub> như một hàm của	Khoảng thời gian giữa thời gian vượt qua khu vực của vệ tinh (giờ:phút)								
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15
ln(AOD)	0,430	0,449	0,521	0,491	0,497	0,451	0,427	0,419	0,401
Độ ẩm tương đối (%)	41,30	24,09	20,65	18,93	30,98	32,70	32,70	34,42	36,14
Áp suất mực nước biển trung bình (hPa)	75,98	72,94	70,91	63,82	66,86	67,87	65,85	67,87	66,86
R <sup>2</sup>	0,76	0,76	0,71	0,74	0,73	0,72	0,72	0,74	0,75

AOD ở độ phân giải 3 km x 3 km cho thấy mối liên hệ tích cực ( $R^2$  trong khoảng từ 60 đến 81%) có ý nghĩa thống kê với  $PM_{2.5}$  trong cả hai phân tích điểm (Bảng 4) và phân tích tổng hợp (Bảng 5). Trong khoảng thời gian 45 phút, thay đổi 1% của AOD giải thích sự thay đổi 0,52% và 0,45% của  $PM_{2.5}$  tương ứng ở phân tích điểm và tổng hợp. Trong khu vực nghiên cứu, nồng độ PM thay đổi đáng kể, do đó, ước tính hàng ngày của PM cho một pixel nhất định sẽ bị nhiễu. Nhưng sau khi kiểm soát nhiễu này, giá trị  $R^2$  tăng lên đáng kể: trong khoảng thời gian  $\pm 15$  phút, giá trị  $R^2$  tăng lên 76% và 81% đối với  $PM_{2.5}$  tương ứng ở phân tích điểm và tổng hợp (Bảng 4 và 5).

**Bảng 5.** Hồi quy  $PM_{2.5}$  trên AOD, áp suất mực nước biển trung bình và độ ẩm tương đối ở độ phân giải pixel 3 km x 3 km: phân tích tổng hợp (dữ liệu  $PM_{2.5}$  được tính trung bình để khớp với độ phân giải không gian của số liệu AOD).

PM <sub>2.5</sub> như một hàm của	Khoảng thời gian giữa thời gian vượt qua khu vực của vệ tinh (giờ:phút)								
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15
ln(AOD)	0,458	0,482	0,454	0,369	0,366	0,371	0,336	0,333	0,342
Độ ẩm tương đối (%)	43,67	20,65	17,21	20,65	22,37	25,81	29,25	32,70	27,53
Áp suất mực nước biển trung bình (hPa)	29,38	54,70	54,70	52,68	51,66	51,66	46,60	47,61	46,60
Phương sai $PM_{2.5}$	0,205	0,178	0,158	0,144	0,166	0,173	0,167	0,159	0,156
$R^2$	0,81	0,66	0,61	0,61	0,62	0,63	0,62	0,61	0,60

Như đã đề cập ở trên, điều kiện thời tiết có thể ảnh hưởng lớn đến số liệu AOD. Do đó, ảnh hưởng của các điều kiện thời tiết, chẳng hạn như vận tốc gió, độ ẩm tương đối, nhiệt độ và áp suất khí quyển, có thể làm thay đổi mối liên kết AOD– $PM_{2.5}$ . Trong nghiên cứu này, độ ẩm tương đối và áp suất khí quyển mực nước biển, cũng có mối liên hệ đáng kể và cho thấy tác động có ý nghĩa thống kê đến  $PM_{2.5}$ .

Tính chất không gian trong AOD so với tính chất không gian của  $PM_{2.5}$  có sự khác biệt vì một số lý do: (a) độ phân giải không gian–thời gian của số liệu AOD được ước tính vào khoảng 10:30 sáng và độ phân giải không gian của chúng là 3 km x 3 km, trong khi đó, dữ liệu  $PM_{2.5}$  được trải rộng  $\pm 150$  phút xung quanh số liệu AOD và những dữ liệu này được ghi lại tại 10 vị trí điểm; (b) AOD là các phép đo cột trong khi  $PM_{2.5}$  được ghi lại ở độ cao khoảng 20 mét so với bề mặt; (c) Dữ liệu bề mặt  $PM_{2.5}$  được nội suy, trong khi bề mặt AOD đúng với độ phân giải không gian của nó và không yêu cầu bất kỳ phép nội suy nào.

#### 4. Kết luận

Kết quả cho thấy rằng có một mối tương quan giữa giá trị trung bình hàng ngày của AOD và giá trị  $PM_{2.5}$  trên mặt đất với hệ số tương quan tuyến tính từ 0,66 đến 0,81 trong khoảng thời gian  $\pm 30$  phút của thời gian vệ tinh vượt qua khu vực. Phân tích của nghiên cứu cho thấy mối liên hệ tốt nhất giữa AOD và  $PM_{2.5}$  trong vòng  $\pm 45$  phút của thời gian vệ tinh Terra vượt qua khu vực. Phát hiện này có ý nghĩa quan trọng đối với nghiên cứu mối quan hệ giữa AOD và PM ở các khu vực khác nhau phục vụ công tác giám sát ô nhiễm không khí.



Như đã mô tả ở trên, nồng độ  $PM_{2.5}$  thay đổi đáng kể theo không gian và thời gian, do đó, điều quan trọng là phải nội suy một cách phù hợp giữa độ phân giải không gian – thời gian của AOD và  $PM_{2.5}$  càng chặt chẽ càng tốt, điều này thể hiện sự tăng cường mật độ của các trạm quan trắc mặt đất về nồng độ  $PM_{2.5}$  và các yếu tố khí tượng, đồng thời kết hợp các sản phẩm AOD từ các vệ tinh khác nhằm tăng cường độ phân giải về thời gian.

Kết quả nghiên cứu cũng chứng minh rõ ràng rằng số liệu AOD từ vệ tinh là một đại diện tốt để theo dõi nồng độ PM trên bề mặt. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cho thấy rằng mối quan hệ  $PM_{2.5}$  – AOD phụ thuộc mạnh mẽ vào nồng độ sol khí, độ ẩm tương đối xung quanh, độ che phủ của đám mây. Mối tương quan cao nhất giữa khối lượng MODIS AOD và  $PM_{2.5}$  được tìm thấy trong điều kiện trời quang đãng với độ ẩm tương đối nhỏ hơn 50% và trong vòng  $\pm 45$  phút của thời gian vệ tinh Terra vượt qua khu vực.

Nghiên cứu trong tương lai của chúng tôi nhằm mục đích xác định thuật toán để tính toán nồng độ  $PM_{2.5}$  từ số liệu AOD ở độ phân giải không gian 2,5 hoặc 1 km có tính đến các nguồn gây ô nhiễm không khí như: loại hình sử dụng đất và đặc điểm của sol khí.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.H.Đ.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.H.Đ., D.H.P.; Xử lý số liệu: N.H.Đ., D.H.P.; Phân tích mẫu: N.H.Đ., D.H.P.; Lấy mẫu: N.H.Đ.; Viết bản thảo bài báo: N.H.Đ.; Chỉnh sửa bài báo: D.H.P.

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

## Tài liệu tham khảo

1. Chu, D.A.; Kaufman, Y.J.; Ichoku, C. Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land. *Geophys. Res. Lett.* **2002**, *29*, 1617. <https://doi.org/10.1029/2001GL013205>.  
Gupta, P.; Christopher, S.A.; Wang, J.; Gehrig, R.; Lee, Y.; Kumare, N. Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmos. Environ.* **2006**, *40*(30), 5880–5892. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016>
2. WHO. Guidelines for Air Quality. World Health Organization; Geneva: 2000.
3. Remer, L.A.; Didier, T.; Kaufman, Y.J.; Levy, R.; Mattoo, S. Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from modis: Collection 5. **2006**.
4. Christopher, S.A.; Chou, J.; Zhang, J.; Li, X.; Welch, R.M. Shortwave direct radiative forcing of biomass burning aerosols estimated from VIRS and CERES. *Geophys. Res. Lett.* **2000**, *27*, 2197–2200. <https://doi.org/10.1029/1999GL010923>.
5. Holben, B.N.; Vermote, E.; Kaufman, Y.J.; Tanré, D.; Kalb, V. Aerosol retrieval over land from AVHRR data-application for atmospheric correction. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **1992**, *30*, 212–222. <https://doi.org/10.1109/36.134072>.
6. Wang, J.; Christopher, S.A. Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and  $PM_{2.5}$  mass: implications for air quality studies. *Geophys. Res. Lett.* **2003**, *30*. <https://doi.org/10.1029/2003GL018174>
7. Kaufman, Y.J.; Wald, A.E.; Remer, L.A.; Gao, B.C.; Li, R.R.; Flynn, L. The MODIS 2.1  $\mu m$  channel correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **1997**, *35*, 1286–1298. <https://doi.org/10.1109/36.628795>
8. Chu, D.A.; Kaufman, Y.J.; Zibordi, G.; Chern, J.D.; Mao, J.; Li, C.; Holben, B.N. Global monitoring of air pollution over land from EOS–Terra MODIS. *J. Geophys. Res.* **2003**, *108*, 4661. <https://doi.org/10.1029/2002JD003179>.

## **Building a relationship between dust concentration PM<sub>2.5</sub> and optical depth from modis image in Hanoi city area**

**Nguyen Hai Dong<sup>1\*</sup>, Doan Ha Phong<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Center for Remote Sensing Technology Applications, Department of National Remote Sensing; nguyendong.rsc@gmail.com;

<sup>2</sup> Department of Science, Training and International Cooperation, VietNam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate change; doanhaphong@gmail.com

**Abstract:** Remote sensing data allows air quality research not only spatially but also near real-time in air quality management and monitoring. This study builds the relationship between the aerosol optical depth (AOD) estimated from satellite data at the spatial resolution of 3 km x 3 km with the concentration of fine particles  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  in diameter (PM<sub>2.5</sub>) was observed at terrestrial stations in the inner city of Hanoi. The results of the study have determined that PM<sub>2.5</sub> monitoring data at 10 monitoring points and AOD products extracted from MODIS satellite data are correlated quite well: 1% change of AOD leads to PM<sub>2.5</sub> changes of 0.52% and 0.39% were tracked for  $\pm 45$  and 150 minutes the satellite crossed the area.

**Keywords:** PM<sub>2.5</sub>; AOD; Optical depth; Remote Sensing.