



## Đặc điểm độ dày quang học sol khí từ số liệu các trạm AERONET Việt Nam và so sánh chúng với số liệu MODIS

Phạm Xuân Thành<sup>\*1</sup>, Nguyễn Xuân Anh<sup>1</sup>, Phạm Lê Khương<sup>1</sup>, Đỗ Ngọc Thuý<sup>1</sup>, Hoàng Hải Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Sơn<sup>2</sup>, Âu Duy Tuấn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Trung tâm Tư vấn và Chuyển giao công nghệ Vật lý-Địa chất

<sup>3</sup>Viện Vật lý ứng dụng và thiết bị khoa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Chấp nhận đăng: 20 - 9 - 2015

### ABSTRACT

#### Characteristics of aerosol optical depth retrieved from AERONET in Vietnam and comparison with MODIS data

In this paper, we summarized aerosol optical depth (AOD) data retrieved from AERONET (Aerosol RObotic NETwork) sites in Vietnam. The characteristics of AOD (Aerosol Optical Depth) retrieved from AERONET has been validated and compared with AOD retrieved from MODIS/Terra satellite. Firstly, AOD at 500nm retrieved from AERONET sites are used to evaluate the mean value, annual variation, diurnal variation and variable trend of AOD. Then, the interpolation techniques have been used to derive AOD at 550nm from AOD at 500nm and compare with AOD retrieved by MODIS satellite data. The monthly averaged error, annual averaged error, root mean square error and correlation coefficient are used to compare. As a result, the averaged AOD value is 0.68; 0.70; 0.25 and 0.24 in Bac Giang, Nghia Do, Nha Trang and Bac Lieu, respectively. The annual variation of Bac Giang, Nghia Do and Nha Trang has two peaks (in October and March) and two minimum values (in December, June and July). At Bac Lieu site, there is a maximum value in January and a minimum ones in July. At all sites, most of the anomalies were annually observed in the period of AOD maximum. In the monitoring period, AOD trend slightly decreased in Bac Giang and significantly decreased in Nghia Do. The annual average differences are 0.09, 0.13, 0.05 and 0.11 in Bac Giang, Nghia Do, Nha Trang and Bac Lieu, respectively. The root mean square errors (RMSEs) are 0.23, 0.22, 0.09, and 0.16 for Bac Giang, Nghia Do, Nha Trang and Bac Lieu, respectively. The correlation between MODIS AOD and AERONET AOD is found to be quite high ( $r=0.90$ ) at Nghia Do. For other sites, the correlation coefficients are 0.87, 0.85, 0.79 at Bac Giang, Nha Trang and Bac Lieu, respectively.

©2015 Vietnam Academy of Science and Technology

### 1. Mở đầu

Sol khí (aerosol) bao gồm các hạt rắn, lỏng tồn tại lơ lửng trong khí quyển, là một trong những tác nhân quan trọng gây nên biến đổi tính chất quang học, hóa học khí quyển, chúng tác động tới quá trình hình thành mây, tán xạ và hấp thụ năng lượng

bức xạ, gây nên những biến đổi trong hệ thống thời tiết - khí hậu. Các phần tử sol khí tán xạ và hấp thụ bức xạ làm cho lớp khí quyển ấm lên và bề mặt trái đất lạnh đi, ảnh hưởng trực tiếp đến khí hậu (Kaufman et al., 2002, Lau et al., 2008, Mielonen et al., 2011, Qi YuLei và nnk, 2013,...). Ngoài ra, sol khí ảnh hưởng gián tiếp đến khí hậu do các phần tử sol khí làm tăng số hạt nhân ngưng kết,

\*Tác giả liên hệ, Email: [pxfan@igp-vast.vn](mailto:pxfan@igp-vast.vn)

hình thành hạt nước nhỏ hơn, dẫn đến tăng tán xạ và phân xạ của mây. Các hạt nước nhỏ làm hạn chế sự va chạm và liên kết, kéo dài thời gian tồn tại của mây và ngăn cản sự lớn lên của hạt nước trong mây tạo các hạt mưa. Đặc trưng cho sự suy giảm của tia bức xạ mặt trời khi đi qua khí quyển do hấp thụ và tán xạ của các phân tử sol khí, người ta sử dụng đại lượng độ dày quang học sol khí (AOD: Aerosol Optical Depth). AOD được sử dụng trong hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển tới tín hiệu thu nhận bằng công nghệ viễn thám; giám sát nguồn và các khu vực tập trung sol khí; xây dựng mô hình truyền bức xạ; đánh giá chất lượng không khí; nghiên cứu sự thay đổi khí hậu,... AOD có thể quan sát từ mặt đất hoặc từ vệ tinh. Quan sát tại mặt đất có độ chính xác cao, nhưng nó chỉ đại diện cho một khu vực nhỏ quanh trạm. Ngược lại, quan sát vệ tinh kém chính xác hơn, nhưng có độ che phủ lớn nên được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu bức xạ sol khí trong khí hậu khu vực và toàn cầu. Vì vậy, bên cạnh nghiên cứu về đặc điểm sol khí từ các trạm AERONET, tương tác sol khí và khí hậu, nhiều tác giả trên thế giới còn so sánh AOD thu được từ mạng AERONET với AOD thu được qua vệ tinh MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) nhằm mục tiêu hiệu chỉnh, nâng cao chất lượng của số liệu vệ tinh. Tripathi và nnk (2005) so sánh AOD thu được từ MODIS (AOD MODIS) và AOD thu được từ AERONET (AOD AERONET) tại bước sóng 550nm cho khu vực vịnh Ganga, Ấn Độ, thấy rằng: mặc dù tương quan giữa MODIS và AERONET thời kỳ sau mùa mưa và mùa đông ( $R^2 = 0,71$ ), ngang bằng với thời kỳ trước mùa mưa và mùa mưa ( $R^2 = 0,72$ ), AOD MODIS được phát hiện thấy cao hơn AOD AERONET trong thời kỳ trước mùa mưa và mùa mưa (đặc trưng bởi nhiều bụi) và thấp hơn trong thời kỳ sau mùa mưa và mùa đông; sự chênh lệch giữa AOD MODIS và AOD AERONET là  $0,12 \pm 0,11$ , trong mùa không bụi và  $0,4 \pm 0,2$  trong mùa bụi; sai số tuyệt đối của AOD MODIS bằng khoảng 25% giá trị của AOD MODIS. Qifang Xu và nnk (2005) tìm thấy tương quan từ 1465 điểm số liệu AOD của 34 trạm AERONET trên lục địa nước Mỹ với AOD

MODIS là 0.74. Mielonen và nnk (2011) phát hiện thấy tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET bước sóng 550nm tại Alta Floresta, GSFC, Ispra, Jokioinen, Mongu, Toravere và Xianghe là rất tốt ( $R^2$  biến đổi trong khoảng 0,87 đến 0,97), còn tại Mexico City  $R^2$  chỉ là 0,64. Qi YuLei và nnk (2013) xác định tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET tại SACOL ( $r = 0,761$ ), tại Beijing ( $r = 0,946$ ), tại Xianghe ( $r = 0,97$ ) và tại Xinglong ( $r = 0,940$ ). Sanjay More và nnk (2013) nghiên cứu cho khu vực Pune, Ấn Độ, thấy rằng, trong mùa đông, hệ số tương quan giữa AOD AERONET và AOD MODIS/Terra là 0,79, giữa AOD AERONET và AOD MODIS/Aqua là 0,62; thời điểm trước mùa mưa, hệ số tương quan này là 0,78 (Terra) và 0,74 (Aqua). Từ các kết quả này cho thấy, hệ số tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET tại một số khu vực trên thế giới biến đổi từ 0,62 đến 0,99 và tại một vị trí thì hệ số tương quan và sự chênh lệch này cũng biến đổi theo mùa trong năm. Theo hướng nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của mưa và hoàn lưu gió mùa tới AOD tại trạm Bạc Liêu và Bắc Giang (P.X. Thành và nnk, 2011, P.X. Thành và nnk, 2012), so sánh AOD AERONET Bắc Giang và AOD MODIS trên khu vực Bắc Giang (P.X. Thành và nnk, 2014).

Trong bài báo này, chúng tôi tổng kết số liệu của 4 trạm AERONET tại Việt Nam bao gồm Bắc Giang, Nghĩa Đô, Nha Trang và Bạc Liêu nhằm: (1) Nghiên cứu đặc điểm độ dày quang học sol khí, như biến đổi theo ngày và theo mùa, đặc điểm dị thường, xu thế biến đổi; (2) So sánh giá trị trung bình tháng giữa AOD MODIS và AOD AERONET, tính giá trị sai số bình phương trung bình và hệ số tương quan của 2 chuỗi số liệu cho từng trạm.

## 2. Cơ sở số liệu và phương pháp

### 2.1. Cơ sở số liệu

#### 2.1.1. Số liệu MODIS

Thiết bị phổ kế tạo ảnh phân giải trung bình MODIS được gắn trên vệ tinh Terra và Aqua. Vệ tinh Terra di chuyển từ bắc xuống nam, qua xích đạo vào buổi sáng. Vệ tinh Aqua di chuyển từ nam

lên bắc, đi qua xích đạo vào buổi chiều. Cứ 1 đến 2 ngày, vệ tinh MODIS/Terra và MODIS/Aqua sẽ quét hết bề mặt Trái Đất với độ rộng dải quét 2330km. Vệ tinh MODIS thu nhận ảnh từ 36 kênh phổ (từ 0,4μm đến 14,4 μm), có độ phân giải không gian là 250m, 500m và 1000m (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>). Số liệu vệ tinh MODIS được phân theo 4 cấp: 0; 1B; 2 và 3. Số liệu cấp 0 là số liệu thô; Cấp 1B là số liệu đã được hiệu chỉnh và đưa về vị trí địa lý; Số liệu cấp 2 (MOD04\_L2) được hiệu chỉnh và đưa về lưới tọa độ có độ phân giải không gian 10km × 10km; Số liệu cấp 3 bao gồm số liệu trung bình ngày (M...D08\_D3), trung bình 8 ngày (M...D08\_E3) và trung bình tháng (M...D08\_M3), được chuyển về lưới tọa độ toàn cầu với độ phân giải 1° × 1°. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng số liệu AOD từ vệ tinh MODIS/Terra, đã được xử lý ở cấp 2.

### 2.1.2. Số Liệu AERONET

Mạng trạm quan sát sol khí toàn cầu AERONET được thiết lập bởi NASA. Thiết bị sử dụng để quan sát trong mạng trạm AERONET là quang phổ kế tự động CIMEL 318 do Pháp chế tạo. Thiết bị thực hiện hai phép đo cơ bản là bức xạ trực tiếp từ Mặt Trời và bức xạ tán xạ từ khí quyển. Từ phép đo này, có thể tính được độ dày quang học sol khí tại các dải phổ khác nhau (340, 380, 440, 500, 675, 870 và 1020nm), lượng hơi nước trong khí quyển và thông số Angstrom (thông số đặc trưng cho kích thước của hạt) (N.X. Anh, L.V. Huy, 2008). AOD xác định từ AERONET có độ chính xác ±0.01 đối với các bước sóng lớn hơn 400nm, và ±0.02 với bước sóng nhỏ hơn 400nm (Holben et al., 1998). Số liệu của mạng AERONET được phân cấp theo 3 mức: 1.0; 1.5 và 2.0. Mức 1.0 là tập số liệu chưa được tuyển chọn (unscreened), mức 1.5 bao gồm chuỗi số liệu có loại bỏ sự che phủ của mây (clouds-screened) và mức 2.0 là chuỗi số liệu có chất lượng đảm bảo (quality assured).

Việt Nam tham gia vào mạng trạm AERONET từ tháng 2 năm 2003 với hai trạm đo đầu tiên đặt tại Bắc Giang và Bạc Liêu do Viện Vật lý Địa cầu quản lý và vận hành. Tháng 10 năm 2005, Trung tâm Tư vấn và Chuyển giao Công nghệ Vật lý - Địa chất (CGCTT) đã ký biên bản thỏa thuận hợp tác với Cơ quan Hàng không Vũ trụ Mỹ NASA để

Việt Nam được tham gia trong chương trình AERONET. Kể từ đó, CGCTT và Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm KH & CN Việt Nam cùng quản lý, vận hành, đo đạc và nghiên cứu về sol khí tại Việt Nam. Đến thời điểm hiện tại, Việt Nam đã có 4 trạm đo sol khí có chuỗi số liệu kéo dài hơn 1 năm là Bắc Giang, Bạc Liêu, Nghĩa Đô (Hà Nội) và Nha Trang và 4 điểm đo khảo sát theo mùa gồm Sơn La, Yên Bái, Hưng Yên và Bạch Long Vĩ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng chuỗi số liệu mức 2 của 4 trạm quan trắc kể trên.

### 2.2. Phương pháp

Để đánh giá đặc điểm độ dày quang học sol khí, chúng tôi sử dụng các đặc trưng và phương pháp thống kê sau:

Trung bình số học  $\bar{x}$  :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad (1)$$

- Phương sai mẫu (độ lệch chuẩn)  $\sigma$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (2)$$

- Hệ số tương quan  $r$

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

- Phương pháp xác định dị thường khí hậu: dị thường cao cấp 1 bao gồm các giá trị cao hơn chuẩn của chuỗi một khoảng tin cậy DC1, dị thường cao cấp 2 bao gồm các giá trị cao hơn chuẩn của chuỗi một khoảng tin cậy DC2 và dị thường cao cấp 3 bao gồm các giá trị cao hơn chuẩn của chuỗi một khoảng tin cậy DC3. Các khoảng tin cậy này được tính từ phương sai mẫu ( $\sigma$ ) như sau (N.T. Hiệu và nnk, 2005) :

$$DC1 = 1,84 * \sigma; DC2 = 2,05 * \sigma; DC3 = 2,35 * \sigma$$

- Phương pháp hồi quy phân tích xu thế: phương pháp phân tích xu thế sử dụng trong nghiên cứu này là phương pháp hồi qui. Phương pháp hồi quy giữa biến khí hậu  $x$  và thời gian  $t$ , tức là sự biến đổi của  $x$  theo  $t$ ,  $x = f(t)$ . Để nghiên cứu

xu thế biến đổi tuyến tính ta thành lập phương trình hồi quy:

$$x(t) = at + b \quad (4)$$

trong đó a và b là các hệ số hồi quy được xác định bởi:

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(t - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2}}, \quad b = \bar{x} - a\bar{t}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t, \quad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n t$$

Từ phương trình (4) ta có thể nhận biết được xu thế biến đổi của chuỗi thông qua phân tích hệ số góc a. Dấu của hệ số a xác định xu thế tăng (khi a>0) hoặc giảm (khi a<0), còn trị tuyệt đối của a cho biết mức độ tăng giảm của chuỗi (P.V. Tân, 2005).

Để so sánh AOD giữa MODIS và AERONET, trước hết, chúng tôi thành lập mảng số liệu thống kê theo thời gian từ hai nguồn này. Việc tạo lập mảng số liệu được tiến hành theo từng bước, vì một số lý do sau: (i) giá trị AOD có được từ MODIS là giá trị trung bình trên bề mặt của từng pixel, cụ thể là giá trị AOD trung bình của bề mặt 10km x 10km, trong khi giá trị AOD của mỗi phép đo AERONET là giá trị tại một điểm trong không gian; (ii) khả năng tâm pixel MODIS trùng với điểm quan trắc của thiết bị AERONET rất thấp; (iii) có sự khác biệt về mặt thời gian giữa các số liệu thu được từ hai thiết bị MODIS với AERONET (Tripathi và nnk, 2005). Các bước tiến hành đối với mảng số liệu AOD MODIS gồm:

- Tạo mảng số liệu 5\*5 pixel nằm trong phạm vi ±1/4 độ kinh vĩ so với tọa độ trạm AERONET.

- Lấy trung bình giá trị AOD tại các nút lưới. (So sánh với phương pháp nội suy giá trị AOD từ các nút lưới về vị trí tọa độ trạm theo khoảng cách từ nút lưới tới trạm (P.X. Thành và nnk, 2014). Đối với trạm Bắc Giang kết quả sai khác không đáng kể, còn đối với các trạm khác, phương pháp lấy trung bình cho kết quả tốt hơn).

Đối với mảng số liệu AOD AERONET các bước tiến hành như sau:

- Chọn trong chuỗi số liệu của AERONET các giá trị có thời gian nằm trong khoảng thời gian ±15 phút tính từ thời điểm MODIS ghi được số liệu.

- Nội suy từ giá trị AOD bước sóng 500nm sang AOD bước sóng 550nm, sử dụng thông số Angstrom của AERONET trong dải sóng 440nm - 675nm (Mielonen et al., 2011). Khi đó giá trị AOD tại bước sóng 550nm ( $\tau_{0,55\mu m}$ ) được xác định theo công thức:

$$\tau_{0,55\mu m} = \frac{\tau_{0,5\mu m}}{e^{-\alpha_{0,44\mu m-0,67\mu m} \ln \frac{0,5}{0,55}}} \quad (5)$$

### 3. Đặc điểm độ dày quang học sol khí từ các trạm AERONET tại Việt Nam

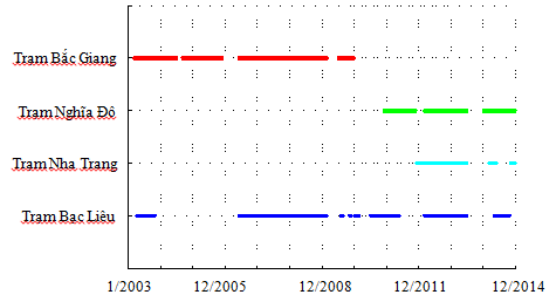
#### 3.1. Dị thường và xu thế biến đổi của chuỗi số liệu AOD

Thời gian hoạt động của các trạm AERONET Việt Nam được thể hiện trên hình 1. Các trạm Bắc Giang và Bạc Liêu bắt đầu quan trắc từ đầu năm 2003, trạm Nghĩa Đô bắt đầu cuối năm 2010, trạm Nha Trang bắt đầu cuối năm 2011. Trạm Bắc Giang ngừng quan trắc từ tháng 12 năm 2009, các trạm còn lại được duy trì đến nay. Việc quan trắc thường bị gián đoạn do thiếu thiết bị hoặc thiết bị trong thời gian kiểm định. Trạm có thời gian gián đoạn cao nhất là trạm Bạc Liêu, chiếm 42% khoảng thời gian quan trắc, tiếp theo là trạm Nha Trang 32%, trạm Nghĩa Đô là 16% và cuối cùng là Bắc Giang 11%. Số liệu quan trắc hàng ngày được ghi đầy đủ trong mức 1.0 của tập số liệu. Sau đó, số liệu được xử lý và nâng cấp lên mức 1,5 và mức 2.0. Số liệu mức 2.0 là số liệu đảm bảo chất lượng, được chúng tôi sử dụng trong nghiên cứu đặc điểm của sol khí và so sánh với AOD MODIS ở phần tiếp theo.

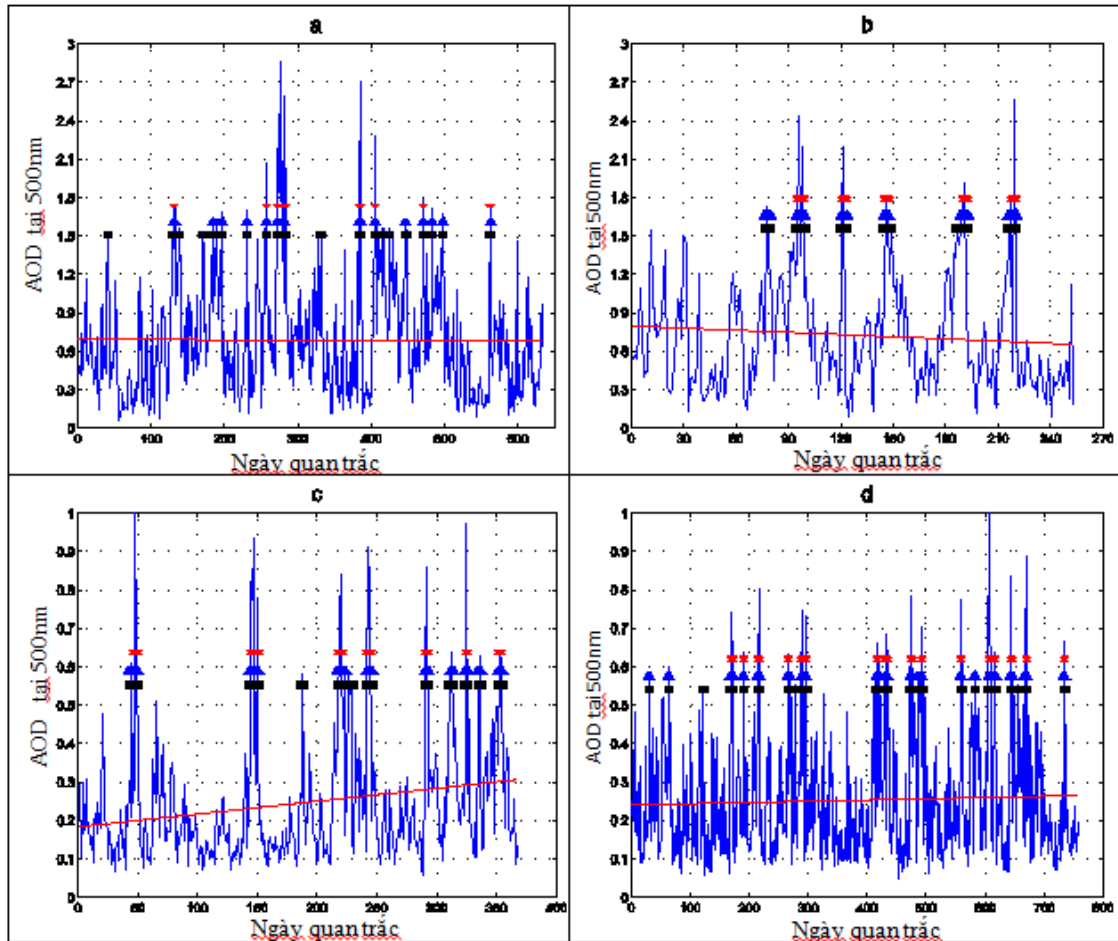
Bảng 1 trình bày số ngày quan trắc được AOD, số lần quan trắc, giá trị trung bình, giá trị dị thường và số lần xảy ra dị thường cao các cấp tại các trạm. Giá trị trung bình của chuỗi số liệu các trạm phía bắc (Bắc Giang = 0,68; Nghĩa Đô = 0,70) cao gấp xi 3 lần so với các trạm phía nam (Nha Trang = 0,25, Bạc Liêu = 0,24). Hình 2 biểu diễn giá trị trung bình ngày, dị thường và xu thế biến đổi của AOD tại bước sóng 500nm tại các trạm. Kết quả quan trắc dị thường tại Bắc Giang cho thấy tháng 10 là tháng xảy ra dị thường nhiều nhất (14 trên tổng số 38 dị thường cao cấp 1). Trạm Nghĩa Đô có đa phần các dị thường (10 trong tổng số 13 dị thường cao cấp 1) xảy ra vào các tháng đầu và cuối

mùa khô (các tháng 10, 11 và 3, 4). Tại trạm Nha Trang, tháng 3 là tháng xảy ra dị thường nhiều nhất (14 lần xảy ra dị thường cao cấp 1). Trạm Bạc Liêu, các ngày xảy ra dị thường tập trung vào các tháng giữa mùa khô (các tháng 1, 2 và 3) với 37 trên tổng số 51 dị thường cao cấp 1. Xu thế biến đổi AOD theo thời gian của các trạm phía bắc có xu thế giảm. Tại trạm Bắc Giang (thời kỳ 2003 đến 2006) AOD giảm không đáng kể, trong khi tại Nghĩa Đô (thời kỳ 2010 đến 2014) AOD có xu thế giảm rõ ràng (hình 2a và 2b). Ngược lại với phía bắc, tại các trạm phía nam AOD có xu thế tăng. Trạm Nha Trang có thể thấy xu thế tăng đáng kể trong thời kỳ 2011 đến 2014 (hình 2c), còn trạm Bạc Liêu có xu thế tăng nhẹ (trung bình thời kỳ

2003-2014 là 0,24 so với trung bình 2003-2009 là 0,23 (P.X. Thành và nkk, 2012).



**Hình 1.** Thời gian hoạt động của các trạm AERONET Việt Nam



**Hình 2.** Giá trị trung bình ngày, dị thường, và xu thế biến đổi của AOD trạm Bắc Giang (a), trạm Nghĩa Đô (b), trạm Nha Trang (c), và trạm Bạc Liêu (d). Dấu “■” chỉ ngưỡng dị thường cao cấp 1, “▲” dị thường cao cấp 2, “×” dị thường cao cấp 3. Đường liền nét biểu diễn xu thế biến đổi AOD theo thời gian.

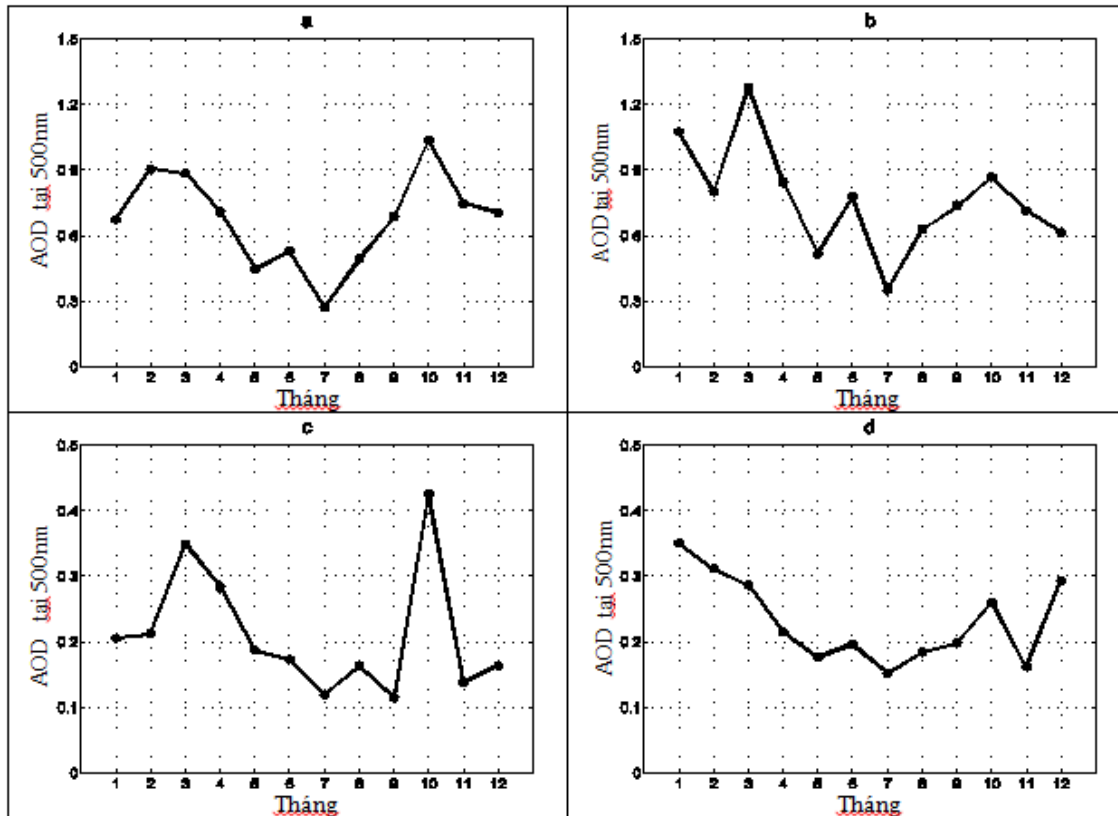
**Bảng 1.** Số ngày quan trắc, giá trị trung bình và dị thường AOD tại các trạm AERONET Việt Nam

Trạm	Số ngày quan trắc	Số lần quan trắc	Giá trị AOD trung bình	Dị thường					
				DC1	Số ngày xảy ra DC1	DC2	Số ngày xảy ra DC2	DC3	Số ngày xảy ra DC3
Bắc Giang	634	11829	0,68	1,51	38	1,60	27	1,73	16
Nghĩa Đô	253	3284	0,70	1,56	13	1,65	9	1,79	6
Nha Trang	368	10329	0,25	0,55	25	0,59	20	0,64	13
Bạc Liêu	759	10407	0,24	0,54	51	0,57	38	0,62	25

**3.2 Biến trình năm và biến trình ngày của AOD tại các trạm AERONET Việt Nam**

Biến trình năm của AOD ở bước sóng 500nm tại các trạm AERONET Việt Nam được thể hiện trong hình 3. Nhìn chung, AOD có giá trị cao trong các tháng mùa khô và thấp trong các tháng mùa mưa. Trong mùa mưa, AOD thấp vì nồng độ các hạt sol khí trong khí quyển giảm do hiện tượng

sa lắng ẩm. Sa lắng ẩm bao gồm hai hình thức: (i) các phân tử sol khí trở thành hạt nhân ngưng kết để hình thành mây và các hạt nước mưa hoặc bị dính vào hạt nước mây, sau đó di chuyển cùng với hạt nước mưa (quá trình này diễn ra trong mây) và (ii) các phân tử sol khí bị rửa trôi, khi cuốn theo bởi các hạt nước mưa (quá trình diễn ra dưới chân mây) (P.X. Thành và nnk, 2011).



**Hình 3.** Biến trình năm AOD tại bước sóng 500nm trạm Bắc Giang (a), trạm Nghĩa Đô (b), trạm Nha Trang (c), trạm Bạc Liêu (d)

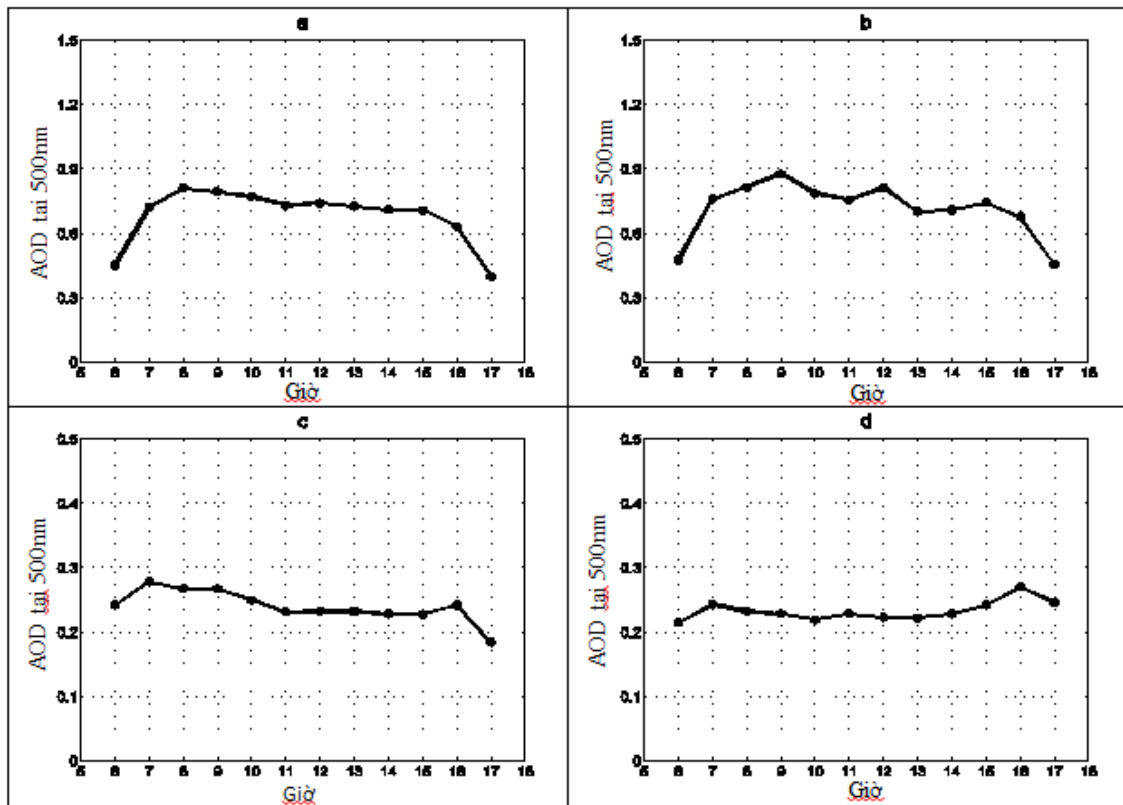
Các trạm Bắc Giang, Nghĩa Đô và Nha Trang có cực đại vào thời điểm đầu và cuối mùa khô (tháng 10 và tháng 3), riêng trạm Bạc Liêu có cực đại vào giữa mùa khô (tháng 1, 2). Vào thời điểm đầu và cuối mùa khô nồng độ các hạt sol khí tại

Bắc Giang và Nghĩa Đô không bị giảm do sa lắng ẩm. Thêm vào đó, trong thời gian này, mặt đất vẫn được đốt nóng tạo ra thông lượng nhiệt giữa mặt đất và khí quyển, tạo nên lực nổi đưa các hạt sol khí từ mặt đất vào khí quyển (Sanjay More et al.,

2013). Do đó, nồng độ sol khí trong khí quyển tăng, gây nên cực đại AOD trong khoảng thời gian này. Trạm Bạc Liêu nằm ở gần cực nam của Việt Nam, ở đây mặt đất được đốt nóng quanh năm nên mật độ sol khí trong khí quyển không phụ thuộc vào nhiệt bề mặt mà chỉ phụ thuộc vào sa lắng âm và điều kiện hoàn lưu, nên cực đại xảy ra vào giữa mùa khô. Trạm Nha Trang mặc dù cách xa các trạm phía bắc nhưng lại có biến trình năm tương tự như các trạm này. Đây là một câu hỏi cần phải giải đáp khi có thêm số liệu và những nghiên cứu, phân tích sâu thêm về đặc điểm nguồn phát thải sol khí

cũng như điều kiện địa lý và hoàn lưu khí quyển ảnh hưởng tới trạm Nha Trang.

Hình 4 biểu diễn biến trình ngày AOD tại các bước sóng 500nm của các trạm AERONET Việt Nam. Nhìn chung, AOD trong ngày biến đổi không nhiều. Tuy nhiên có thể thấy các trạm Bắc Giang và Nghĩa Đô có biến trình ngày giống như biến đổi của độ cao mặt trời, đó là thấp vào sáng và tối cao vào thời điểm giữa trưa. Các trạm phía nam không thấy rõ hình dạng này. Trạm Nha Trang và Bạc Liêu lại có cực đại vào lúc 7 giờ và 16 giờ.



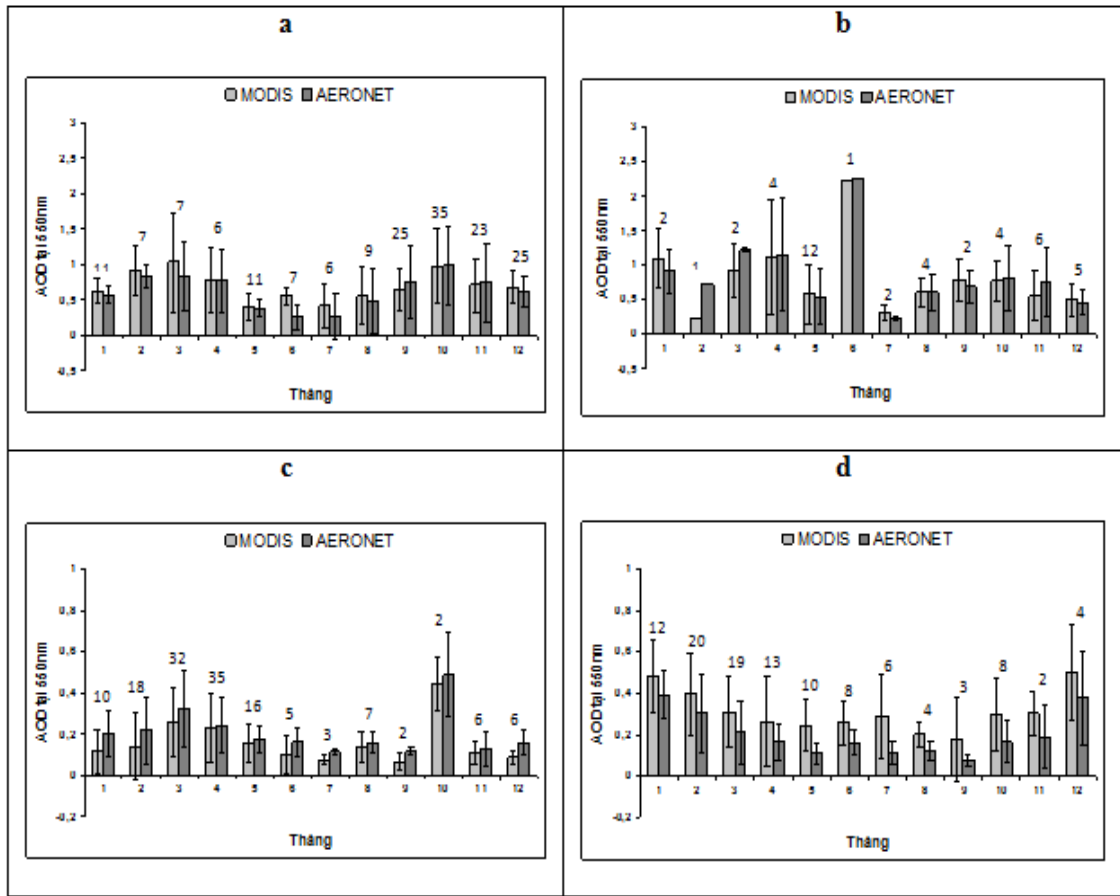
Hình 4. Biến trình ngày AOD tại bước sóng 500nm trạm Bắc Giang (a), trạm Nghĩa Đô (b), trạm Nha Trang (c), trạm Bạc Liêu (d)

#### 4. So sánh AOD MODIS và AOD AERONET tại Việt Nam

##### 4.1. Biến đổi theo mùa của AOD MODIS và AOD AERONET

Hình 5 và bảng 2 thể hiện số lần (cũng chính là số ngày: vì mỗi ngày vệ tinh chỉ bay qua trạm nhiều nhất là 1 lần) đo được AOD tại bước sóng 550nm

đồng thời từ MODIS và AERONET, giá trị AOD trung bình và độ lệch chuẩn từng tháng trong năm cho từng trạm của Việt Nam. Mặc dù, số lần quan trắc đồng thời chiếm tỉ lệ thấp so với tổng số lần quan trắc AOD tại mỗi trạm (Bắc Giang = 27%, Nghĩa Đô = 18%, Nha Trang = 39%, Bạc Liêu = 14%), giá trị AOD trung bình tháng của cả MODIS và AERONET vẫn cho thấy sự biến đổi theo mùa rõ rệt.



**Hình 5.** Độ dày quang học trung bình, độ lệch chuẩn và số lần quan trắc đồng thời từng tháng của MODIS và AERONET trạm Bắc Giang (a), trạm Nghĩa Đô (b), trạm Nha Trang (c), trạm Bạc Liêu (d)

**Bảng 2.** Số lần quan trắc, sai số tuyệt đối AOD các tháng giữa số liệu MODIS và AERONET tại các trạm AERONET Việt Nam

Tháng	Bắc Giang		Nghĩa Đô		Nha Trang		Bạc Liêu	
	Số lần QT	Sai số	Số lần QT	Sai số	Số lần QT	Sai số	Số lần QT	Sai số
1	11	0,05	2	0,18	10	0,08	12	0,09
2	7	0,07	1	0,50	18	0,08	20	0,10
3	7	0,19	2	0,29	32	0,07	19	0,10
4	6	0,01	4	0,05	35	0,01	13	0,10
5	11	0,02	12	0,03	16	0,01	10	0,13
6	7	0,30	1	0,04	5	0,06	8	0,10
7	6	0,16	2	0,09	3	0,04	6	0,17
8	9	0,08	4	0,01	7	0,02	4	0,08
9	25	0,12	2	0,10	2	0,05	3	0,10
10	35	0,01	4	0,02	2	0,05	8	0,13
11	23	0,04	6	0,19	6	0,02	2	0,11
12	25	0,05	5	0,03	6	0,07	4	0,12
Trung bình		0,09		0,13		0,05		0,11

Tại trạm Bắc Giang, có tổng số 172 lần quan sát được AOD đồng thời từ MODIS và AERONET. Số lần quan sát được trong từng tháng phản ánh đúng điều kiện thời tiết khí hậu khu vực này (P.X.

Thành và nnk, 2014). Nửa đầu mùa đông (các tháng 10, 11, 12) bầu trời thường quang mây, độ ẩm thấp (kiểu thời tiết hanh khô) là điều kiện thuận lợi để quan sát Trái Đất từ vệ tinh cũng như quan



sát bức xạ Mặt Trời từ mặt đất, số lần quan sát được AOD cao. Ngược lại, nửa cuối mùa đông (tháng 1, 2, 3), khu vực Bắc Bộ thường bị bao phủ bởi màn mây dày đặc của thời tiết mưa phùn, số lần quan sát được AOD thấp hơn đáng kể so với đầu mùa đông. Các tháng mùa mưa, do ảnh hưởng của mây đối lưu, số lần quan sát được AOD cũng thấp (bảng 2).

Biến đổi AOD của MODIS và AERONET trong năm khu vực trạm Bắc Giang thể hiện sự biến đổi theo mùa, với hai cực đại và hai cực tiểu. Cực đại thứ nhất vào các tháng 2 hoặc 3, cực đại thứ hai vào tháng 10. Cực tiểu chính xuất hiện vào các tháng giữa mùa mưa (tháng 5, 6, 7), trong đó, AERONET cực tiểu vào tháng 6 và MODIS cực tiểu vào tháng 7. Cực tiểu phụ vào các tháng giữa mùa khô (tháng 1). So sánh giá trị trung bình tháng giữa AOD MODIS và AOD AERONET ta thấy hầu hết các tháng có AOD MODIS cao hơn AOD AERONET với mức chênh lệch trung bình 12 tháng là 0,09 và sai số bình phương trung bình (RMSE) cho cả chuỗi số liệu 172 lần quan sát là 0,23.

Trạm Nghĩa Đô trong khoảng thời gian từ tháng 11 năm 2010 đến tháng 12 năm 2014 có 45 lần quan sát được đồng thời cả MODIS và AERONET, các tháng đầu mùa khô cũng có xu hướng quan sát được nhiều hơn các tháng còn lại. Trong tháng 1 và tháng 6 mỗi tháng chỉ có 1 ngày quan sát được AOD, song, cả hai lần quan sát này đều có nét đặc biệt. Lần quan sát trong tháng 1 tạo ra sai số rất lớn giữa MODIS và AERONET (0,5) cao gấp 4 lần sai số trung bình (bảng 1). Lần quan sát trong tháng 6, giá trị AOD lại rất cao (2,23) vượt cả giá trị dị thường loại 3 của trạm ( $DC3=1.79$ ). Tuy nhiên, sai số giữa MODIS và AERONET trong lần quan sát này lại rất thấp (0,04). Ngoài những nét đặc biệt trên, biến đổi của AOD của MODIS và AERONET tại Nghĩa Đô cũng có quy luật theo mùa đó là cao vào mùa khô, thấp vào mùa mưa, cực đại vào khoảng đầu mùa khô (tháng 10) và cuối mùa khô (các tháng 3 và 4). So sánh giá trị trung bình tháng giữa AOD MODIS và AOD AERONET ta thấy có tháng AOD MODIS cao hơn AOD AERONET và ngược lại. Trung bình sai số tuyệt đối giữa AOD MODIS và AOD AERONET của 12 tháng là 0,13 và giá trị RMSE tính cho cả chuỗi số liệu 45 lần quan sát là 0,22.

Trạm Nha Trang có tổng số 142 lần quan sát được AOD đồng thời từ MODIS và AERONET, trong tháng 10 có 2 lần, và cả 2 lần AOD đều rất cao (AOD AERONET đạt 0.34, quan sát thấy vào ngày 31/10/2012, và AOD AERONET đạt 0.64 vào ngày 28/10/2012, cao bằng dị thường cấp 2 của Nha Trang). Biến đổi AOD của MODIS và AERONET tại Nha Trang có 2 cực đại vào tháng 3 và tháng 10. Một đặc điểm quan trọng của số liệu tại trạm Nha Trang là giá trị của MODIS thấp hơn giá trị AERONET tại tất cả các tháng. Trung bình sai số tuyệt đối giữa AOD MODIS và AOD AERONET của 12 tháng là 0,05 và giá trị RMSE tính cho cả chuỗi số liệu 142 lần quan sát là 0,09.

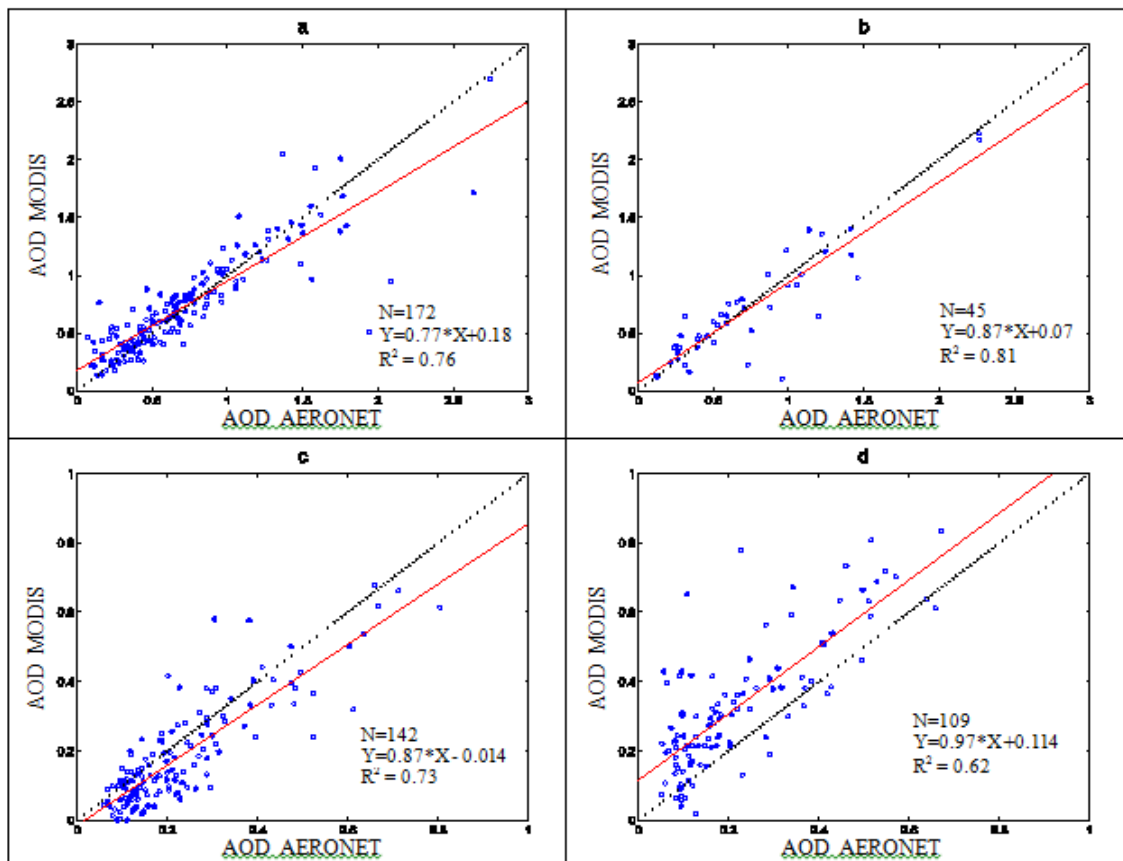
Trạm Bạc Liêu có tổng số 109 lần quan sát được đồng thời AOD từ MODIS và AERONET. Biến đổi theo thời gian trong năm của AOD MODIS và AOD AERONET không có gì đặc biệt và phụ thuộc theo mùa (mùa khô AOD cao, mùa mưa AOD thấp). Ngược lại với trạm Nha Trang, tại khu vực trạm Bạc Liêu, giá trị AOD thu được từ MODIS cao hơn từ AERONET tại tất cả các tháng trong năm. Sai số tuyệt đối giữa AOD MODIS và AOD AERONET tính trung bình 12 tháng là 0,11 và giá trị RMSE tính cho cả chuỗi số liệu 109 lần quan sát là 0,16.

#### **4.2. Hệ số tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET**

Hình 6 trình bày phương trình hồi quy tuyến tính và hệ số tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET tại các trạm AERONET Việt Nam. Trong đó, các dấu chấm tròn thể hiện giá trị AOD đồng thời của MODIS và AERONET, đường đứt nét biểu diễn quan hệ 1:1, đường nét liền là đường hồi quy giữa hai chuỗi số liệu này. Hình 6a và 6b là phương trình hồi quy và hệ số tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET tại trạm Bắc Giang và trạm Nghĩa Đô, có thể thấy các dấu chấm tròn được phân bố tương đối đều về hai bên đường 1:1 và đường hồi quy cắt đường 1:1, chứng tỏ giá trị trung bình các lần quan trắc của MODIS và AERONET chênh lệch nhau không nhiều (trạm Bắc Giang chênh lệch 0,02, trạm Nghĩa Đô chênh lệch 0,03). Trong khi phần nhiều các chấm tròn và đường hồi quy trạm của trạm Nha Trang nằm ở phía dưới đường 1 : 1 (hình 6c), và của trạm Bạc Liêu nằm ở phía trên đường 1:1 (hình 6d). Kết quả này phản ánh giá trị AOD của MODIS thấp hơn

giá trị AOD của AERONET tại Nha Trang (hình 5c) và ngược lại, giá trị AOD của MODIS cao hơn giá trị AOD của AERONET tại trạm Bạc Liêu (hình 5d). Hệ số tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET cao nhất là trạm Nghĩa Đô,  $r =$

0,90, tiếp theo đến trạm Bắc Giang,  $r = 0,87$ , trạm Nha Trang,  $r = 0,85$  và cuối cùng là Bạc Liêu  $r = 0,79$ . Kết quả nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu cho một số nơi khác trên thế giới (hệ số tương quan biến đổi từ 0,62 đến 0,99).



**Hình 6.** Biểu đồ tương quan giữa AOD MODIS và AOD AERONET trạm Bắc Giang (a), trạm Nghĩa Đô (b), trạm Nha Trang (c), trạm Bạc Liêu (d)

## 5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi tổng kết chuỗi số liệu quan trắc AOD tại các AERONET Việt Nam nhằm rút ra các đặc trưng AOD của các trạm này và so sánh với AOD thu được từ vệ tinh MODIS. Kết quả cụ thể có thể tóm tắt như sau:

(i) Về AOD ở Việt Nam qua số liệu AERONET:

Độ dày quang học trung bình tại trạm Bắc Giang là 0,68 (với chuỗi quan trắc 2003-2009), tại trạm Nghĩa Đô là 0,70 (2010-2014), tại trạm Nha

Trang là 0,25 (2011-2014) và tại trạm Bạc Liêu là 0,24 (2003-2014).

Biến trình năm của AOD tại các trạm Bắc Giang, Nghĩa Đô và Nha Trang có hai cực đại, vào khoảng tháng 10 và tháng 3, hai cực tiểu vào khoảng tháng 12 và tháng 6 hoặc 7. Trạm Bạc Liêu có cực đại vào tháng 1 và cực tiểu vào tháng 7. Hầu hết các dị thường quan sát được đều tập trung trong khoảng thời gian xảy ra cực đại AOD trong biến trình năm của các trạm. Trong khoảng thời gian quan trắc kể trên, AOD trạm Bắc Giang có xu thế giảm nhẹ, trạm Nghĩa Đô có xu thế giảm rõ

ràng, trạm Bạc Liêu có xu thế tăng nhẹ, trạm Nha Trang có xu thế tăng rõ ràng.

(ii) So sánh AOD AERONET Việt Nam với AOD MODIS:

Mức độ chênh lệch tính trung bình cho 12 tháng trong năm giữa AOD MODIS và AOD AERONET tại trạm Bắc Giang là 0,09, trạm Nghĩa Đô là 0,13, trạm Nha Trang là 0,05 và trạm Bạc Liêu là 0,11. Sai số bình phương trung bình (RMSE) cho 172 lần quan sát của chuỗi số liệu trạm Bắc Giang là 0,23, cho 45 lần quan sát của trạm Nghĩa Đô là 0,22, 142 lần quan sát của trạm Nha Trang là 0,09 và 109 lần quan sát của trạm Bạc Liêu là 0,16.

Hệ số tương quan giữa chuỗi số liệu AOD MODIS và AOD AERONET trạm Nghĩa Đô có giá trị cao nhất,  $r = 0,90$ , tiếp theo đến trạm Bắc Giang,  $r = 0,87$ , trạm Nha Trang,  $r = 0,85$  và cuối cùng là Bạc Liêu,  $r = 0,79$ .

Mặc dù số lượng mẫu quan trắc để so sánh chưa nhiều và còn cần được tiếp tục nghiên cứu thêm, tuy nhiên những hệ số tương quan khá cao như trên cũng cho thấy khả năng sử dụng số liệu MODIS trong nghiên cứu AOD ở Việt Nam theo không gian và thời gian là rất khả quan.

#### Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành với sự trợ giúp kinh phí của đề tài “Nghiên cứu thông số khí quyển sử dụng quan trắc vệ tinh và đo đạc LIDAR trong đánh giá ảnh hưởng của khí quyển lên chất lượng ảnh vệ tinh”, mã số VT/CB-02/14-15, thuộc Chương trình khoa học công nghệ vũ trụ giai đoạn 2012-2015. Trong bài báo có sử dụng số liệu AERONET và số liệu MODIS của NASA. Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đến các tổ chức trên.

#### Tài liệu dẫn

Nguyễn Xuân Anh, Lê Việt Huy, 2008: Nghiên cứu aerosol qua trạm Bắc Giang và Bạc Liêu. Tuyển tập các công trình nghiên cứu vật lý địa cầu 2008, trang 307-320.

Holben B. N., T. F. Eck, I. Slutsker, T. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J.A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak, and A. Smirnov, 1998: AERONET: a federated instrument network and data

archive for aerosol characterization. Remote Sens. Environ., 37 : 2403 - 2412.

Kaufman Y. J., Didier Tanre, and Olivier Boucher, 2002: A satellite view of aerosols in the climate system. Nature, 419: 215-223, 2002. 29

Nguyễn Trọng Hiệu, Phạm Thanh Hương, Lê Thị Bảo Ngọc, 2005: Một số dị thường khí hậu tiêu biểu ở Việt Nam thời kỳ 1961-2000. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, tr.1-9.

Lau K.-M. et al., 2008: The joint Aerosol-Monsoon Experiment: A New Challenge for Monsoon Climate Research. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 89, 369-383.

Mielonen T. , R. C. Levy, V. Aaltonen, M. Komppula, G. de Leeuw, J. Huttunen, H. Lihavainen, P. Kolmonen, K. E. J. Lehtinen, and A. Arola, 2011: Evaluating the assumptions of surface reflectance and aerosol type selection within the MODIS aerosol retrieval over land: the problem of dust type selection Atmos. Meas. Tech., 4, 201-214.

Sanjay More, P. Pradeep Kumar, Pawan Gupta, P.C.S. Devara, G.R. Aher, 2013: Comparison of Aerosol Products Retrieved from AERONET, MICROTOPS and MODIS over a Tropical Urban City, Pune, India. Aerosol and Air Quality Research, 13: 107-121.

Phan Văn Tân, 2005 : Phương pháp thống kê trong khí hậu. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 260 trang.

Phạm Xuân Thành, Nguyễn Xuân Anh, Lê Việt Huy, Lê Như Quân, Hoàng Hải Sơn, Phạm Lê Khương, 2011: Ảnh hưởng của mưa đầu mùa tới độ dày quang học sol khí tại Bạc Liêu. Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, T.33, (1), tr.10-17.

Phạm Xuân Thành, Nguyễn Xuân Anh, Đỗ Ngọc Thúy, Lê Việt Huy, 2012: Ảnh hưởng của hoàn lưu gió mùa mùa đông tới độ dày quang học sol khí tại Bạc Liêu và Bắc Giang. Tạp chí Các khoa học về Trái Đất, 34, (3), tr.266-274

Phạm Xuân Thành, Nguyễn Xuân Anh, Đỗ Ngọc Thúy, Phạm Lê Khương, Hoàng Hải Sơn, Nguyễn Ngọc Quang, 2014: So sánh độ dày quang học sol khí từ nguồn số liệu MODIS và AERONET tại khu vực Bắc Giang. Hội thảo khoa học “Công nghệ vũ trụ và ứng dụng”, Hà Nội.

Tripathi S. N., Sagnik Dey, A. Chandel, S. Srivastava, Ramesh P. Singh, B. N. Holben, 2005: Comparison of MODIS and AERONET derived aerosol optical depth over the Ganga Basin, India. Annales Geophysicae, 23, 1093-1101.

P.X. Thành và nnk/Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, Tập 37 (2015)

- Qifang Xu, Zoran Obradovic, Bo Han, Yong Li, Amy Braverman, Slobodan Vucetic, 2005: Improving Aerosol Retrieval Accuracy by Integrating AERONET, MISR and MODIS Data. 8th International Conference on Information Fusion, 25-28 July 2005.
- Qi YuLei, GE JinMing & Huang JianPing, 2013 : Spatial and temporal distribution of MODIS and MISR aerosol optical depth over northern China and comparison with AERONET. Chinese Science Bulletin, Vol.58 No.20: 249-2506,doi: 10.1007/s11434-013-5678-5.
- <http://modis.gsfc.nasa.gov/>