

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**  
**VIỆN KHOA HỌC**  
**KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU**



**Nguyễn Hải Đông**

**NGHIÊN CỨU ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU VỆ TINH**  
**CHO MÔ HÌNH CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ (CMAQ)**  
**TẠI KHU VỰC HÀ NỘI**

**Ngành: Quản lý tài nguyên và môi trường**  
**Mã số: 9850101**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**  
**QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**

**Hà Nội - 2021**

Công trình được hoàn thành tại:

**Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Doãn Hà Phong
2. TS. Lê Ngọc Cầu

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện  
hợp tại: Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

vào hồi      giờ      ngày      tháng      năm 2021

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam;
- Thư viện Viện Khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu.

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Không khí là lượng chất khí luôn bao quanh chúng ta, không khí không có màu, không mùi, không vị và đây là một yếu tố quyết định sự sống của con người cũng như toàn bộ sinh vật sống trên trái đất.

Ô nhiễm môi trường không khí là sự thay đổi lớn trong thành phần của không khí hoặc khi có sự xuất hiện các khí lạ làm cho không khí không còn sạch, có sự tỏa mùi, làm giảm tầm nhìn xa, gây biến đổi khí hậu, gây bệnh cho con người và các loài sinh vật. Ô nhiễm môi trường không khí xả ra khi không khí có chứa các thành phần độc hại như các loại khí, bụi lơ lửng, khói, mùi vượt quá một ngưỡng giới hạn nhất định [7].

Có nhiều quy chuẩn để đánh giá chất lượng không khí (CLKK) khác nhau, tuy nhiên, nồng độ các hạt lơ lửng trong không khí, đặc biệt là  $PM_{2.5}$  và  $PM_{10}$ , đã được chấp nhận rộng rãi để đánh giá về chất lượng không khí. Do đó, thuật ngữ chất lượng không khí sẽ đề cập đến nồng độ  $PM_{2.5}$  của môi trường không khí trong các phần còn lại của nghiên cứu này.

Để đánh giá chất lượng không khí, nhiều phương pháp cũng như giải pháp kỹ thuật đã được phát triển như phương pháp đo đạc bằng các thiết bị tại các trạm quan trắc đặt trên mặt đất, phương pháp viễn thám (thông qua các cảm biến được lắp đặt trên các vệ tinh) và phương pháp mô hình hóa (sử dụng các mô hình toán).

Đối với phương pháp đo đạc bằng các thiết bị tại các trạm quan trắc đặt trên mặt đất, các chất gây ô nhiễm không khí cung cấp được một cách định tính, định lượng về nồng độ và sự lắng đọng. Tuy nhiên, chúng chỉ có thể mô tả CLKK tại các vị trí và thời điểm cụ thể mà không đưa ra được định hướng về việc xác định nguyên nhân của sự ô

nhiễm không khí. Phương pháp viễn thám sử dụng các cảm biến đặt trên các vệ tinh được sử dụng để đánh giá CLKK trên diện rộng tại cùng một thời điểm. Tuy nhiên, phương pháp này hiện cũng chưa đáp ứng được yêu cầu về độ chính xác, tần suất cung cấp thông tin, khả năng dự báo.

Hệ thống mô hình chất lượng không khí đa qui mô Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) là hệ thống mô hình có khả năng mô phỏng các quá trình khí quyển phức tạp ảnh hưởng tới biến đổi, lan truyền và lắng đọng.

Tuy vậy, đối với phương pháp mô hình hóa, yếu tố đầu vào của mô hình có vai trò rất quan trọng. Trên thực tế hiện nay, chưa có một phương pháp nào có khả năng cung cấp hoàn chỉnh toàn bộ dữ liệu đầu vào của mô hình CMAQ mà cần phải có sự tích hợp từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau. Đây cũng là những vấn đề khó khăn và là điểm mấu chốt cần giải quyết đối với bài toán mô hình hóa chất lượng không khí.

Trên cơ sở đó đề tài nghiên cứu “***Nghiên cứu đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình chất lượng không khí CMAQ tại khu vực Hà Nội***” đã được chọn.

Để thực hiện được nghiên cứu này, một số câu hỏi được đặt ra như sau:

- Đồng hóa số liệu cho mô hình CMAQ được thực hiện ở module nào của mô hình?
- Loại số liệu vệ tinh nào đáp ứng được yêu cầu cho mục đích đồng hóa và việc đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình CMAQ được tiến hành như thế nào?
- Đánh giá kết quả của mô hình sau khi số liệu vệ tinh đã được đồng hóa như thế nào? Hiệu quả của việc đồng hóa số liệu vệ tinh trong việc giám sát ô nhiễm không khí?

## 2. Mục tiêu nghiên cứu

- Nghiên cứu áp dụng phép lọc Kalman tổ hợp (LETKF) để đồng hóa số liệu AOD từ vệ tinh MODIS, nâng cao độ chính xác ước tính nồng độ  $PM_{2.5}$  trong không khí cho khu vực Hà Nội.

- Nghiên cứu đề xuất được Quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh AOD sử dụng module WRFDA phục vụ công tác đánh giá chất lượng không khí phù hợp với điều kiện của Việt Nam.

## 3. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan, thu thập, phân tích, đánh giá các tài liệu: địa hình, khí tượng, dữ liệu viễn thám, mô hình toán, hệ thống mô hình WRF-CMAQ, cơ sở toán học và thuật toán đồng hóa số liệu, các tài liệu nghiên cứu có liên quan đến nội dung Luận án;

- Phân tích, xử lý ảnh viễn thám để tính toán giá trị AOD làm đầu vào cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ;

- Cấu trúc, các module của hệ thống mô hình WRF-CMAQ, cài đặt, các nguồn số liệu đầu vào, các bước thực hiện và kết quả của mô phỏng;

- Mô phỏng trên cơ sở trước và sau khi đồng hóa số liệu vệ tinh AOD, tính toán nồng độ  $PM_{2.5}$  trên hệ thống mô hình WRF-CMAQ;

- Hiện thị, phân tích, đánh giá kết quả nồng độ  $PM_{2.5}$  trên kết quả mô phỏng, so sánh tương quan với số liệu quan trắc tại các trạm quan trắc, nguyên nhân, sự dịch chuyển của  $PM_{2.5}$  gây ô nhiễm không khí tại khu vực nghiên cứu.

## 4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

**Phạm vi không gian:** Hà Nội và khu vực lân cận.

**Phạm vi thời gian:** Các năm 2015, 2017 và 2019.

**Phạm vi về nội dung nghiên cứu:** Đồng hóa số liệu vệ tinh AOD cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

**Đối tượng nghiên cứu:** Nồng độ bụi mịn PM<sub>2.5</sub>; Hệ thống mô hình WRF-CMAQ; Phép lọc Kalman; Dữ liệu viễn thám MODIS; Độ sâu quang học AOD.

### **5. Phương pháp nghiên cứu**

Các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu của luận án gồm:

- Phương pháp chuyên gia tư vấn: Tham khảo chuyên gia tư vấn trong lĩnh vực đo đạc, giám sát ô nhiễm không khí;
- Phương pháp xử lý ảnh viễn thám: Thực hiện công tác xử lý, tính toán trực tiếp số liệu AOD, nồng độ bụi trên ảnh viễn thám MODIS;
- Phương pháp mô hình hóa: Kỹ thuật đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình CMAQ;
- Phương pháp thống kê, phân tích đa thời gian: Phân tích diễn biến nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> từ kết quả của mô hình theo thời gian mô phỏng.

### **6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

- **Ý nghĩa khoa học:** Kết quả của Luận án cung cấp cơ sở khoa học, phương pháp mới sử dụng số liệu vệ tinh xây dựng được bộ số liệu đầu vào, quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ nhằm tạo công cụ phục vụ đánh giá chất lượng không khí tại khu vực Hà Nội nói riêng và Việt Nam nói chung.

- **Ý nghĩa thực tiễn:** Kết quả của Luận án có thể áp dụng vào công tác đánh giá chất lượng không khí, hỗ trợ các nhà quản lý trong việc giám sát, xác định nguồn phát thải gây ô nhiễm, từ đó xem xét, quyết định các hoạt động nhằm giảm thiểu ô nhiễm không khí, phát triển kinh tế xã hội.

### **7. Luận điểm bảo vệ**

- **Luận điểm 1:** Quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh AOD sử dụng module WRFDA phục vụ công tác dự báo, đánh giá CLKK phù hợp với điều kiện của Việt Nam.

- **Luận điểm 2:** Đồng hóa số liệu AOD từ vệ tinh MODIS nâng cao độ chính xác ước tính, dự báo CLKK cho khu vực Hà Nội là phù hợp.

### **8. Đóng góp mới của luận án**

Thiết lập được phương pháp mới trong việc đánh giá CLKK thông qua mô hình CMAQ mang tính chất toàn diện phục vụ giám sát ô nhiễm không khí trên địa bàn thành phố Hà Nội và mở rộng cho tất cả các tỉnh thành trên phạm vi cả nước và đặc biệt hữu ích cho các khu vực chưa có trạm quan trắc mặt đất.

### **9. Bố cục của luận án**

Ngoài các phần mở đầu; tài liệu tham khảo; phụ lục, cấu trúc luận án gồm 03 Chương:

Chương 1. Tổng quan về các phương pháp đồng hóa.

Chương 2. Cơ sở toán học và phương pháp nghiên cứu.

Chương 3. Kết quả đồng hóa số liệu vệ tinh cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

### **Kết luận và kiến nghị**

## **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG HÓA**

### **1.1. Tổng quan các phương pháp quan trắc môi trường**

Hiện nay có nhiều phương pháp quan trắc phục vụ giám sát ô nhiễm không khí đang được áp dụng và triển khai trên thực tế.

#### *a. Phương pháp xác định bằng thiết bị quan trắc*

Phương pháp xác định các thông số cơ bản trong không khí bằng thiết bị quan trắc tại các trạm quan trắc đặt mặt đất đo đặc nồng độ các chất trong không khí và đang được sử dụng phổ biến hiện nay, đặc biệt là ở các đô thị, khu công nghiệp.

Phương pháp nghiên cứu ô nhiễm môi trường không khí bằng tư liệu ảnh viễn thám dựa trên đặc điểm tán xạ của sóng điện từ trên các hạt bụi ô nhiễm trong khí quyển.

Các nhà khoa học đã đề xuất nhiều phương pháp khác nhau để xác định ô nhiễm không khí từ dữ liệu ảnh vệ tinh như: Carnahan và cộng sự, 1984; Tanre và cộng sự, 1988; Sifakis và Deschamps, 1992; Retalis và cộng sự, 1998; Nuno Grosso và cộng sự, 2007; Retalis và Sifakis, 2009; Chu và cộng sự, 2003.

### *b. Phương pháp mô hình hóa*

Phương pháp mô hình hóa, thực chất là dùng các mô hình toán học mô tả quá trình khuếch tán chất ô nhiễm cũng như tính toán với sự trợ giúp của máy vi tính để tính toán nồng độ các thành phần vật chất, hóa học có trong không khí.

## **1.2. Khái niệm, tổng quan các phương pháp đồng hóa**

Năm 2003, Eugenia Kalnay đưa ra khái niệm “Đồng hóa số liệu là kết hợp một cách tốt nhất các nguồn thông tin, số liệu khác nhau, dữ liệu quan trắc, dữ liệu nền, một thông tin tiên nghiệm hoặc số liệu thống kê để ước lượng, tính toán trạng thái của một hệ thống, một phương trình mô hình”.

Đồng hóa số liệu trong ngành khoa học nghiên cứu về trái đất đã bước đầu được áp dụng cho khí tượng mà các phương pháp đã được thực hiện rất sớm như Lorenc, 1986; Daley, 1991; Kalnay, 2003; Evensen, 2009; Lahoz et al, 2010; Fedorov, 1989; Daley, 1991.

Cách tiếp cận nội suy thống kê tối ưu như Fedorov, 1989; Daley, 1991; Ghil và Malanotte-Rizzoli, 1991; Penenko và Obratsov, 1976; Le Dimet và Talagrand, 1986; Talagrand, 1987; Rabier, 2000; Lorenc, 2003; Xavier, 2006; Routray, 2008; Kalnay và các cộng sự, 2008.



### **1.3. Tổng quan đồng hóa số liệu khí tượng và hóa học khí quyển**

Sự phong phú ngày càng tăng của dữ liệu vệ tinh thông qua việc truy xuất các dấu hiệu thành phần không khí trong khí quyển làm cho việc đồng hóa dữ liệu vệ tinh trong mô phỏng chất lượng không khí trở thành một phương pháp ngày càng khả thi để thu được các kết quả phân tích và các điều kiện ban đầu chính xác hơn cho dự báo chất lượng không khí. Đáng kể đến như Kursinski và cộng sự, 1997; Rocken và cộng sự, 1997; Xavier, 2006; Routray, 2008; Rakesh, 2009.

Các dữ liệu vệ tinh có tiềm năng rất lớn để sử dụng trong đồng hóa hóa học, tức là đồng hóa dữ liệu cho các mô hình hóa học CTM như Carmichael và cộng sự, 2008; Zhao và Wang, 2009; Lamsal và cộng sự, 2008; Ionov và cộng sự, 2006; Boersma và cộng sự, 2008; Huijnen và cộng sự, 2010; Boersma và cộng sự, 2008.

Ở Việt Nam, Kiều Thị Xin và Lê Đức, 2003 đã nghiên cứu áp dụng mô hình đồng hóa số liệu 3D-VAR cho mô hình HRM. Tác giả Kiều Thị Xin, 2005 cũng đã sử dụng phương pháp biến phân hai chiều để phân tích độ ẩm đất từ nhiệt độ quan trắc 2 mét cho mô hình HRM. Tác giả Trần Tân Tiến và Nguyễn Thị Thanh, 2011 đã nghiên cứu đồng hóa dữ liệu vệ tinh MODIS trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. GS Phan Văn Tân và Nguyễn Lê Dũng, 2009 đã thử nghiệm và ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông.

Tác giả Kiều Quốc Chánh, 2011 đã tổng quan về hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp và ứng dụng cho mô hình dự báo thời tiết WRF.

Gần đây, đồng hóa số liệu bằng phương pháp tổ hợp đang được các Trung tâm khí tượng lớn trên thế giới phát triển và ứng dụng, đặc biệt là phương pháp lọc Kalman tổ hợp.

Bằng cách đồng hóa số liệu, những sai số dự báo do điều kiện ban đầu có thể được giảm nhẹ dẫn đến kết quả dự báo tốt hơn. Ước lượng điều kiện ban đầu càng chính xác thì chất lượng dự báo sẽ càng tốt. Phương pháp đồng hóa số liệu đã trở thành một phương pháp quan trọng trong ngành dự báo.

### *Tiểu kết chương 1*

Có thể nói, việc kết hợp nhiều nguồn số liệu cho mục đích tạo ra một ước lượng ban đầu tốt nhất từ một trạng thái dự báo (hay dự báo nền) cho trước về trạng thái của khí quyển làm đầu vào cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ, nâng cao chất lượng kết quả dự báo về chất lượng không khí là một xu thế tất yếu của công tác dự báo.

Số liệu từ vệ tinh quan trắc trái đất ngày càng có độ chính xác cao, với tần xuất ngày càng cải thiện. Ưu điểm của phương pháp viễn thám là khả năng cung cấp số liệu trên diện rộng, từ quy mô địa phương đến quốc gia, thậm chí là quy mô toàn cầu; đặc biệt là giá thành khá thấp, thậm chí còn miễn phí. Kết quả của các nghiên cứu trước đây đã chứng minh số liệu độ sâu quang học từ vệ tinh có tác động nâng cao độ chính xác kết quả ước tính nồng độ các chất trong không khí. Việc xác định phương pháp xử lý số liệu AOD đóng một vai trò quan trọng trong việc đồng hóa, tạo nguồn số liệu đầu vào cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

Đồng hóa số liệu khí tượng và hóa học khí quyển cũng được chứng minh là cải thiện một cách đáng kể kết quả của các dự báo. Kỹ thuật đồng hóa dựa trên cơ sở toán học của bộ lọc Kalman tổ hợp đã được ứng dụng cho hệ thống mô hình WRF để đồng hóa số liệu vệ tinh nhằm dự báo trạng thái khí quyển cũng như dự báo chất lượng không khí đã

được các nhà khoa học thực hiện và chứng minh có hiệu quả rõ rệt. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu của các tác giả trước đây chưa đề cập đến việc kết hợp hệ thống mô hình WRF và hệ thống mô hình CMAQ để đánh giá chất lượng không khí dựa trên cơ sở lọc Kalman cho việc đồng hóa số liệu vệ tinh AOD.

Do vậy, xây dựng được quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh AOD cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ nhằm thiết lập được phương pháp mới trong việc đánh giá chất lượng không khí một cách toàn diện trên diện rộng phục vụ giám sát ô nhiễm không khí khu vực Hà Nội, mở rộng trên lãnh thổ Việt Nam là vấn đề cần được nghiên cứu.

## **CHƯƠNG 2. CƠ SỞ TOÁN HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Kỹ thuật đồng hóa số liệu**

Theo Talagrand và Kalnay, ước tính tốt nhất về trạng thái của khí quyển thu được từ sự kết hợp thống kê của phỏng đoán đầu tiên về khí quyển và các quan trắc là trạng thái phân tích. Để có được ước tính tối ưu cần thông tin thống kê về các sai số trong các quan trắc.

Một phương pháp khác để có được ước tính tối ưu là lọc Kalman. Lọc Kalman là một thuật toán cung cấp các ước tính của một số biến chưa biết dựa trên các phép đo được quan sát theo thời gian. Bộ lọc Kalman đã và đang chứng minh tính hữu ích của nó trong các ứng dụng khác nhau.

#### ***2.1.1. Thuật toán của bộ lọc Kalman mở rộng***

Bộ lọc Kalman mở rộng (EKF) được sử dụng cho các ứng dụng phi tuyến. Thuật toán của bộ lọc Kalman mở rộng bao gồm hai bước: “*bước dự báo*” trạng thái dự báo và ma trận hiệp phương sai của nó và

“*bước phân tích*” cập nhật trạng thái phân tích và hiệp phương sai tương ứng, được tóm tắt lại như sau:

1. Đầu vào

Trạng thái dự báo  $x^a(t_0) = x_0$

và ma trận hiệp phương sai lỗi nền  $\mathbf{P}^a(t_0) = \mathbf{P}_0$

2. Vòng lặp  $i = 1, 2, \dots$

•Bước dự báo:

$$x^f(t_i) = M_{i-1} [x^a(t_{i-1})]$$

$$\mathbf{P}^f(t_i) = \mathbf{L}_{i-1} \mathbf{P}^a(t_{i-1}) \mathbf{L}_{i-1}^T + \mathbf{Q}_{i-1}$$

•Bước phân tích:

$$\mathbf{K}_i = \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T [\mathbf{R}_i + \mathbf{H}_i \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T]^{-1}$$

$$x^a(t_i) = x^f(t_i) + \mathbf{K}_i [y_i^0 - H [x^f(t_i)]]$$

$$\mathbf{P}^a(t_i) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}_i \mathbf{H}_i] \mathbf{P}^f(t_i)$$

Một đặc tính tuyệt vời của bộ lọc Kalman mở rộng là ngay cả khi một hệ thống bắt đầu với phỏng đoán ban đầu kém về trạng thái của khí quyển, EKF sẽ cung cấp ước tính tuyến tính tốt nhất về trạng thái và hiệp phương sai của nó. Tuy nhiên, có hạn chế trong ứng dụng là sự lan truyền sai số được tính gần đúng bằng mô hình tuyến tính tiếp tuyến giữa hai bước phân tích.

### 2.1.2. Thuật toán của bộ lọc Kalman tổ hợp

Do khả năng phát triển mô hình tiếp tuyến và tích phân ma trận sai số hiệp biến theo thời gian với mô hình tiếp tuyến là không thực tế trong các mô hình dự báo, lọc Kalman đã được cải tiến để có thể áp dụng được cho các bài toán nghiệp vụ. Một biến thể dựa trên tích phân ngẫu nhiên Monte-Carlo, theo đó một tập các đầu vào dựa theo phân bố xác suất cũng như giá trị sai số của trường phân tích tại từng thời

điểm được tạo ra xung quanh một giá trị trường phân tích cho trước đã được phát triển và được gọi là lọc Kalman tổ hợp biến đổi cục bộ hóa (LETKF). Đây cũng chính là phương pháp sẽ được lựa chọn và đưa vào module đồng hóa WRFDA trong phần sau của nghiên cứu này.

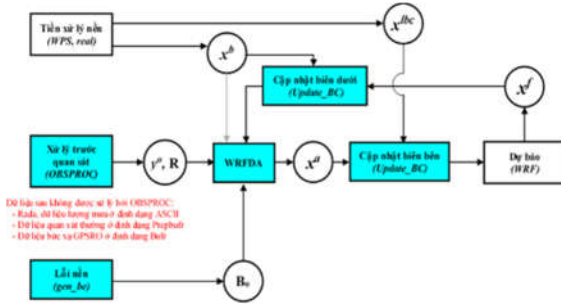
Về cơ bản, lọc LETKF là một phương pháp tại mỗi điểm nút lưới, lựa chọn một lần cận mô hình với kích thước cho trước. Sau đó, sử dụng ma trận nhiễu tổ hợp nền để biến đổi từ không gian cục bộ sang không gian tổ hợp. Điều này làm giảm đáng kể khối lượng tính toán ma trận vì không gian tổ hợp thường nhỏ hơn không gian cục bộ rất nhiều. Do đó, các phép toán ma trận sẽ có độ chính xác cao hơn và quá trình đồng hóa theo bộ lọc LETKF sẽ có bảy bước.

## **2.2. Đồng hóa số liệu trong mô hình WRF**

Hệ thống đồng hóa số liệu trong WRF ban đầu dựa trên hệ thống 3DVAR của MM5 và được đặt tên là WRF3DVAR. Sau đó, một sơ đồ đồng hóa 4DVAR đã được đưa vào và tên được đổi thành WRFVAR. Năm 2008 sau khi phát hành phương pháp biến thể lai/tổng hợp (hybrid variational/ensemble method), thành phần này được đổi tên thành WRFDA, và được phát triển cho đến ngày nay.

### **2.2.1. Module đồng hóa WRFDA**

WRFDA được sử dụng để đưa các quan trắc vào các phân tích nội suy được tạo bởi hệ thống tiền xử lý (WPS), cũng có thể được sử dụng để cập nhật các điều kiện ban đầu của WRF khi chạy ở chế độ quay vòng (two-way). WRFDA dựa trên kỹ thuật đồng hóa số liệu biến thiên gia tăng hỗ trợ cả phương pháp 3DVAR và 4DVAR. WRFDA cũng có khả năng đồng hóa số liệu hỗn hợp kết hợp các ích lợi của phương pháp biến phân với thông tin lỗi thống kê, phụ thuộc vào luồng được cung cấp bởi các dự báo tổng hợp.



Hình 2.2. Mối quan hệ giữa các thành phần của WRFDA với các thành phần của hệ thống WRF

Phương pháp đồng hóa WRF-3DVar nhằm mục đích tạo ra một ước tính tối ưu về trạng thái khí quyển thực tại thời điểm phân tích thông qua việc giảm thiểu hàm chi phí (cost) được quy định bởi hàm số sau:

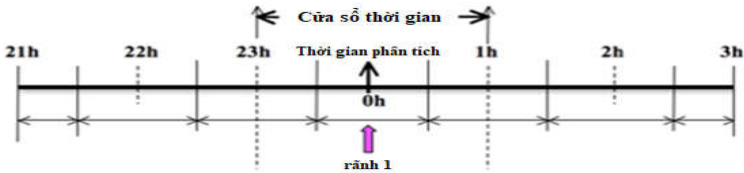
$$J(x) = J_b(x) + J_o(x) = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(y - y^0)^T (E + F)^{-1}(y - y^0) \quad (2.26)$$

Đồng hóa số liệu biến phân 3D-VAR là phép giải lặp của phương trình (2.26) để tìm trạng thái được phân tích  $x$  sao cho  $J(x)$  là nhỏ nhất. Đồng hóa 4D-Var có một số ưu điểm so với phương pháp 3D-Var, cho phép các quan trắc được đồng hóa tại thời điểm quan trắc của chúng hoặc trong một khoảng thời gian cụ thể xác định các hiệp phương sai dự báo phụ thuộc vào lưu lượng và hầu như có khả năng sử dụng mô hình dự báo như một ràng buộc dẫn đến một ước tính phân tích được cải thiện. Hàm thuật toán của phương pháp 4D-Var có dạng:

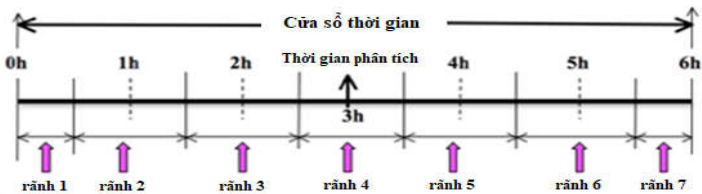
$$J(x_0) = \frac{1}{2}(x_0 - x_0^b)^T B^{-1}(x_0 - x_0^b) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [H_i(M_i(x_0)) - y_i]^T R_i^{-1} [H_i(M_i(x_0)) - y_i] \quad (2.28)$$

$M_i$  là mô hình dự báo và  $H_i$  là toán tử quan trắc theo thời gian dự tính được chia theo khoảng phù hợp  $i$ . Trong bài toán đồng hóa dữ liệu AOD từ vệ tinh MODIS, giá trị AOD chính là toán tử quan trắc  $H_i$ .  $B$  ma trận sai số hiệp phương sai của trường nền, là một ước lượng khí tượng, trường nền vector  $x^b$  là dự báo ngắn hạn được tạo ra bởi một phân tích trước đó.  $x^f$  là véctơ biểu thị phân tích không liên tục sau vòng lặp ngoài thứ  $i$  với  $i = 1, \dots, n$  với  $n$  là số lần lặp.  $x^n$  vector giá trị thu được sau vòng lặp bên ngoài cuối cùng (thứ  $n$ ). Việc tối ưu hóa vòng lặp bên trong bắt đầu từ một trạng thái dự báo  $x^{n-1}$  là trạng thái phân tích từ vòng lặp bên ngoài gần nhất. Trong vòng lặp ngoài đầu tiên, trường nền  $x^b$  thường được lấy làm trạng thái dự báo  $x^0$  đầu tiên.

Tất cả các quan trắc trong phạm vi  $\pm 1$  giờ (cho 3D-Var) và  $\pm 3$  giờ (cho 4D-Var) sẽ được xử lý, có nghĩa là các số liệu quan trắc trong khoảng trước và sau thời điểm phân tích 01 giờ (hoặc 03 giờ) được coi là các quan trắc trong giờ phân tích. Điều này được minh họa trong Hình 2.4 và Hình 2.5.



Hình 2.4 Cửa sổ thời gian phân tích của OBSPROC - 3DVAR



Hình 2.5 Cửa sổ thời gian phân tích của OBSPROC - 4DVAR

Số liệu AOD từ vệ tinh MODIS sau khi được xử lý ở bước trên được đồng hóa vào hệ thống mô hình WRF-CMAQ bởi module WRFDA với phương pháp đồng hóa 4D-Var. Quá trình đồng hóa số liệu AOD được tiến hành ở bước (4) trong “Sơ đồ các bước nghiên cứu và mô phỏng thực nghiệm - Hình 3.1”.

### **2.2.2. Mô hình chất lượng không khí CMAQ**

Dữ liệu sau khi đồng hóa được chuyển đổi vào mô hình CMAQ thông qua bộ xử lý bề mặt khí tượng - hóa học (Meteorology - Chemistry Interface Processor - MCIP).

Trong hệ thống mô hình CMAQ, dữ liệu được xử lý qua các bước:

- Tính toán tốc độ quang phân được sử dụng bởi cơ chế quang hóa;
- Bộ xử lý điều kiện ban đầu ICON (Initial Conditions Processor): nội suy dữ liệu theo cấu trúc ngang và dọc của miền mô phỏng.
- Bộ xử lý điều kiện biên BCON (Boundary Conditions Processor): các điều kiện hóa học dọc theo các ranh giới bên của miền mô phỏng. BCON sẽ tạo một tệp đầu ra với nồng độ hóa học cho tất cả các ô lưới dọc theo ranh giới ngang của miền mô hình hóa.

- Mô hình vận chuyển hóa học CCTM (CMAQ Chemistry-Transport Model): đầu vào cho CCTM bao gồm các số liệu đã được xử lý ở các bước trên và số liệu phát thải toàn cầu được xác định bởi cơ chế hóa học nhằm tính toán các biến đổi về mặt hóa học của các thành phần hóa học trên cơ sở sự biến đổi của các yếu tố khí tượng, kết quả là nồng độ của các thành phần hóa học (bao gồm cả vật chất hạt PM) được thể hiện theo các yếu tố khí tượng trên từng khoảng thời gian được quy định ở bước thời gian của mô phỏng.

Cuối cùng trực quan hóa các kết quả của quá trình mô phỏng trong hệ thống mô hình WRF-CMAQ bằng các module Post-Processing.



## ***Tiểu kết chương 2***

Phương pháp đồng hóa số liệu đã được sử dụng với mục đích kết hợp các số liệu quan sát và kết quả mô hình nhằm tạo ra bộ số liệu đầu vào có chất lượng tốt nhất, nâng cao kết quả dự báo của mô hình. Kỹ thuật đồng hóa số liệu sử dụng bộ lọc Kalman tổ hợp thực hiện song song hóa bộ lọc một cách rất hiệu quả bằng cách chia các phần công việc độc lập cho các lõi tính toán khác nhau, điều này cho phép tăng tính hiệu quả tính toán đã được áp dụng trong hệ thống mô hình WRF với module đồng hóa số liệu WRFDA.

Phương pháp đồng hóa 4DVAR trong WRFDA dựa trên kỹ thuật đồng hóa số liệu biến thiên gia tăng cho phép các quan trắc được đồng hóa tại thời điểm quan trắc hoặc trong một khoảng thời gian cụ thể sẽ được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm đưa các quan trắc vào các phân tích nội suy được tạo bởi Hệ thống tiền xử lý (WPS).

Sản phẩm Aerosol có độ phân giải  $3 \times 3$  (km) của MODIS được đồng hóa thông qua module WRFDA sau khi được phân chia các lớp theo độ cao của lớp khí tượng và giải quyết vấn đề biên độ thay đổi của số liệu phù hợp với từng địa phương, sàng lọc các quan trắc, xóa bỏ các quan trắc bên ngoài của miền không gian mô phỏng và thời gian mô phỏng, gán cờ chất lượng cho mỗi quan trắc, sắp xếp và hợp nhất các số liệu trùng lặp theo thời gian và không gian, kiểm tra các điều kiện nhất quán theo chiều dọc của miền mô phỏng.

## **CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU VỆ TINH CHO HỆ THỐNG MÔ HÌNH WRF-CMAQ**

### **3.1. Xác định các thông số cho quá trình thực nghiệm**

- *Nguồn dữ liệu sử dụng:*

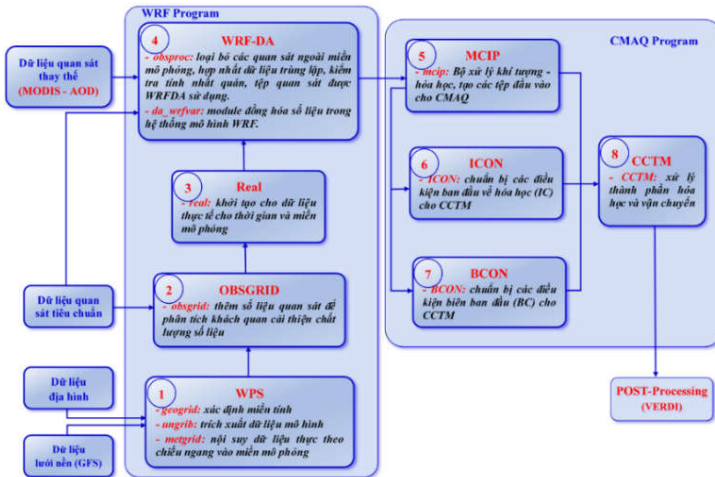
Dữ liệu được sử dụng cho mô phỏng bao gồm các nguồn như sau:

+ Dữ liệu khí tượng: cung cấp phạm vi toàn cầu từ Cục quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia Mỹ (NOAA).

+ Dữ liệu vệ tinh: sản phẩm AOD được chiết suất từ dữ liệu MODIS Aqua/Terra Aerosol 5-Min L2 Swath 3 km <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>.

+ Dữ liệu phát thải toàn cầu: số liệu phát thải toàn cầu được cung cấp trên website của CMAQ.

- Các bước tiến hành mô phỏng: Đồng hóa số liệu vệ tinh cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ cần được tiến hành qua nhiều bước khác nhau. Mỗi bước thực hiện đòi hỏi nhiều công đoạn, kỹ thuật, số liệu, phân tích, đánh giá khác nhau. Luận án đã thực hiện các bước mô phỏng thực nghiệm như sơ đồ tại Hình 3.1.



Hình 3.1. Sơ đồ các bước nghiên cứu và mô phỏng thực nghiệm

- Thời gian tiến hành mô phỏng: Thời gian cho mô phỏng là khoảng thời gian có điều kiện thời tiết ổn định, dữ liệu AOD từ vệ tinh không chịu ảnh hưởng của thời tiết:

+ Mùa mưa:

Từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015;

Từ 00 giờ ngày 04/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015;

Từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019.

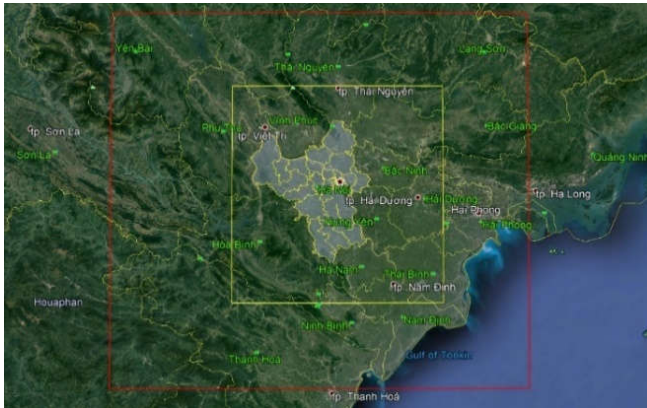
+ Mùa khô:

Từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017;

Từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017;

Từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019.

- *Khu vực thực nghiệm mô phỏng*: Khu vực tiến hành mô phỏng là khu vực Hà Nội và lân cận (*Hình 3.2*).



Hình 3.2: Domain (màu đỏ) và nest (màu vàng) khu vực Hà Nội

### 3.2. Kết quả quá trình mô phỏng

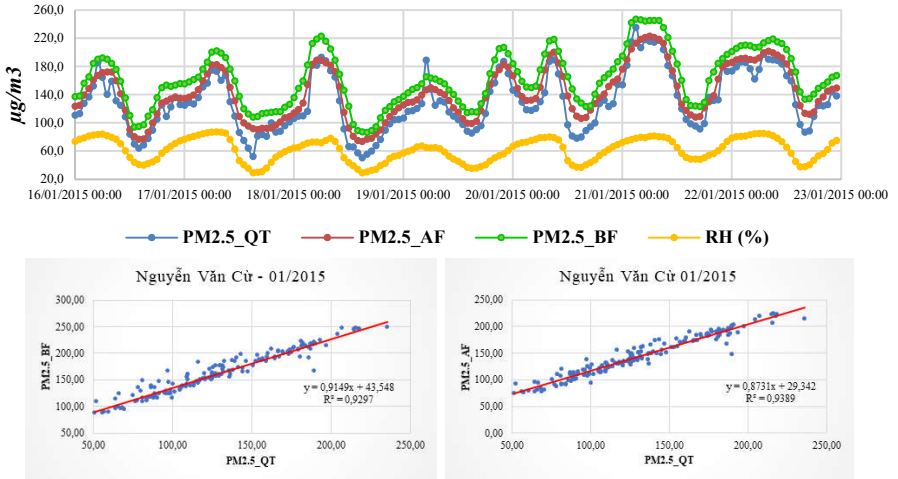
#### 3.2.1. Kết quả mô phỏng vào mùa mưa

Dưới đây là kết quả mô phỏng thực nghiệm trong thời gian vào mùa mưa bao gồm:

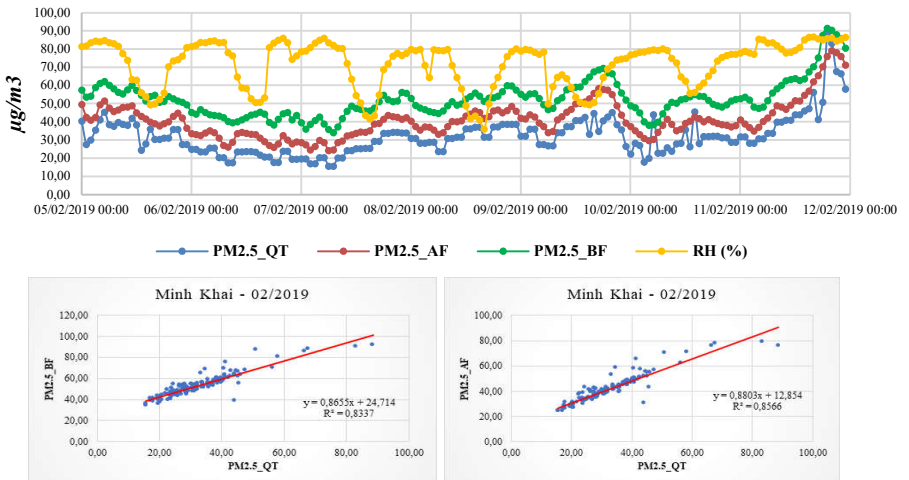
- Từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015;

- Từ 00 giờ ngày 04/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015;

- Từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019.



Hình 3.12: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ  $PM_{2.5}$  từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ



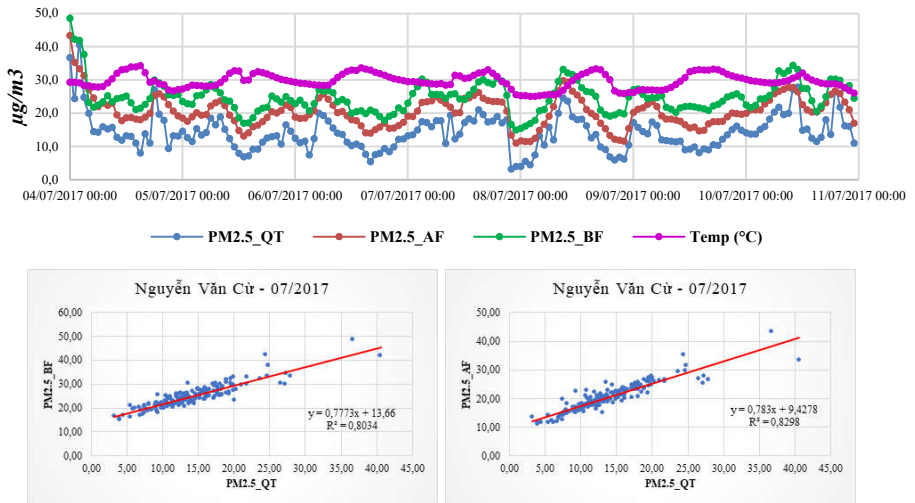
Hình 3.15: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ  $PM_{2.5}$  từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019 tại trạm Minh Khai

Kết quả hồi quy đã thể hiện mối tương quan giữa nồng độ  $PM_{2.5}$  trước và sau khi đồng hóa với nồng độ  $PM_{2.5}$  đã được cải thiện ( $R^2$  từ 0,929 lên 0,938 tại trạm Nguyễn Văn Cừ tháng 01/2015 - H. 3.12; và từ 0,833 lên 0,857 tại trạm Minh Khai tháng 02/2019 - H. 3.15).

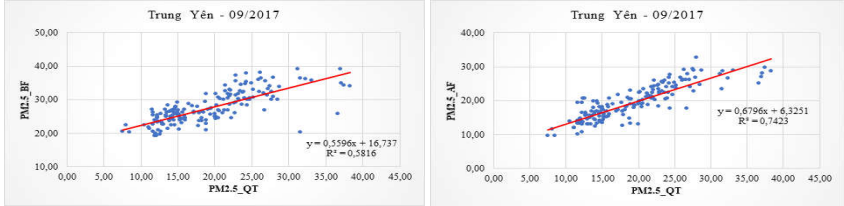
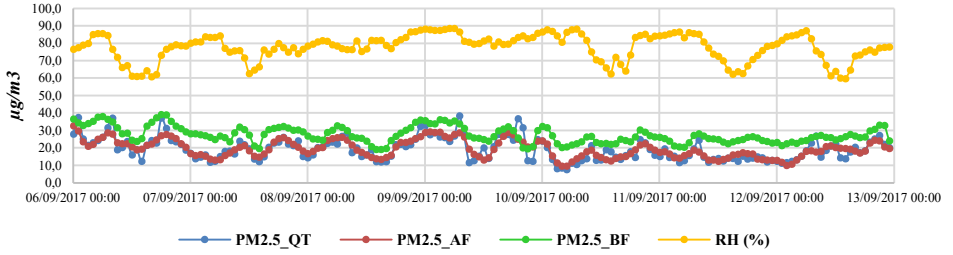
### 3.2.2. Kết quả mô phỏng vào mùa khô

Dưới đây là kết quả mô phỏng thực nghiệm trong thời gian vào mùa khô bao gồm:

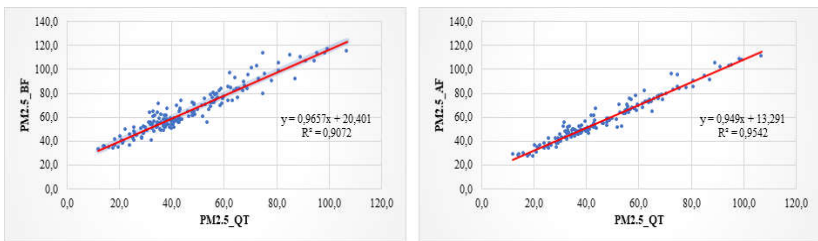
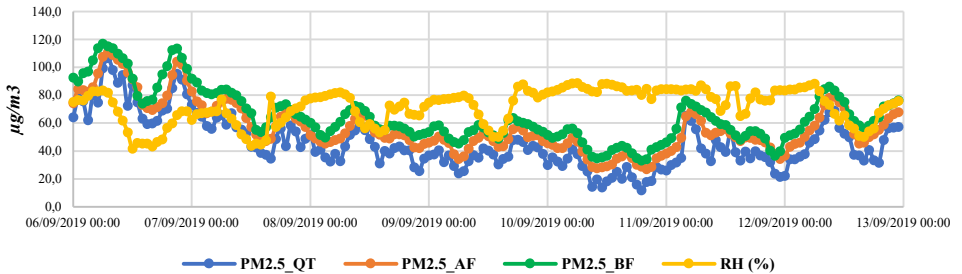
- Từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017;
- Từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017;
- Từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019.



Hình 3.16: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ  $PM_{2.5}$  từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ



Hình 3.19: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ PM<sub>2.5</sub> từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Trung Yên



Hình 3.23: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ PM<sub>2.5</sub> từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 tại trạm Minh Khai

Kết quả hồi quy đã thể hiện mối tương quan giữa nồng độ  $PM_{2.5}$  trước và sau khi đồng hóa với nồng độ  $PM_{2.5}$  đã được cải thiện ( $R^2$  từ 0,803 lên 0,829 tại trạm Nguyễn Văn Cừ tháng 07/2017 - Hình 3.16 và từ 0,582 lên 0,742 tại trạm Trung Yên tháng 09/2017 - Hình 3.19).

Kết quả ước tính nồng độ  $PM_{2.5}$  từ mô hình sau khi đồng hóa cũng cho thấy mối tương quan đã được cải thiện đáng kể,  $R^2$  tăng từ 0,907 lên 0,954 tại trạm Minh Khai vào tháng 09/2019 - Hình 3.23.

Kết quả mô phỏng đã thể hiện rõ số liệu vệ tinh AOD đã được đồng hóa trong kết quả mô phỏng và có tác động tích cực đến kết quả ước tính nồng độ  $PM_{2.5}$  nói riêng và các trường nồng độ hóa học nói chung.

### ***Tiểu kết chương 3***

Mô phỏng của thực nghiệm được thực hiện trên toàn bộ địa giới Hà Nội và vùng lân cận, được chia thành 06 mô phỏng với thời gian mỗi mô phỏng là 07 ngày, chia theo mùa khô và mưa cho các năm 2015 (02 mô phỏng mùa khô), 2017 (02 mô phỏng mùa mưa) và 2019 (01 mô phỏng mùa mưa và 01 mô phỏng mùa khô).

Quá trình đồng hóa số liệu độ sâu quang học AOD ở bước sóng 550 nm trích xuất từ dữ liệu vệ tinh MODIS của mô phỏng thực nghiệm được thực hiện thông qua module WRFDA trong hệ thống mô hình WRF đã xây dựng được bộ số liệu đầu vào cho mô hình chất lượng không khí CMAQ với chất lượng tốt.

Với nguồn số liệu sau khi đồng hóa bởi module WRFDA, mô hình chất lượng không khí CMAQ đã mô phỏng được nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  cho khu vực Hà Nội với khoảng thời gian của mô phỏng. Nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  từ kết quả của mô hình CMAQ có tương quan với số liệu quan trắc mặt đất được cải thiện rõ rệt so với số liệu không có đồng hóa, cụ thể: kết quả hồi quy  $R^2$  tăng ít nhất từ 0,915 lên 0,917 đối với mô

phông từ 06/09/2017 đến 12/09/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ và nhiều nhất từ 0,581 lên 0,742 đối với thời gian mô phông từ 06/09/2017 đến 12/09/2017 tại trạm Trung Yên;  $R^2$  tăng từ 0,929 lên 0,939 đối với mô phông từ 16/01/2015 đến 22/01/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ; từ 0,803 lên 0,830 đối với mô phông từ 04/07/2017 đến 10/07/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ; từ 0,368 lên 0,431 đối với mô phông từ 04/07/2017 đến 10/07/2017 tại trạm Trung Yên. Đối với các khoảng thời gian mô phông năm 2017 và 2019 tại trạm Trung Yên và trạm Minh Khai, kết quả hồi quy đều tăng lên rõ rệt.

Kết quả hồi quy nồng độ  $PM_{2.5}$  có và không có đồng hóa số liệu AOD với nồng độ  $PM_{2.5}$  tại các trạm quan trắc mặt đất trong các khoảng thời gian mô phông đều có sự tăng lên, thể hiện mối tương quan tốt với các yếu tố khí tượng cũng như hóa học khí quyển. Kết quả thu được từ thực nghiệm cho thấy rằng đồng hóa có khả năng mang đến những cải tiến đáng kể cho dự báo hóa học khí quyển.

Một hạn chế lớn của đồng hóa số liệu vệ tinh là sự hạn chế về số liệu sẵn có, đặc biệt là trong thời gian thực (hoặc gần thời gian thực). Đồng hóa số liệu bề mặt và các số liệu vệ tinh đã được chứng minh là có hữu ích. Số liệu vệ tinh rất có giá trị vì sự bao quát tại cùng thời điểm mà nó có thể cung cấp.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### **Kết luận**

Ứng dụng phép lọc Kalman tổ hợp trong hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA của mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF đã nâng cao độ chính xác ước tính, cải thiện một cách đáng kể trạng thái ban đầu, cung cấp số liệu đầu vào cho mô hình chất lượng không khí



CMAQ, nâng cao kết quả dự báo chất lượng không khí cho khu vực Hà Nội.

Phần mềm xử lý số liệu AOD nhằm loại bỏ các số liệu có sai số thô, không đạt tiêu chuẩn, không nhất quán, đánh dấu cờ dựa trên độ tin cậy của số liệu đã được xây dựng, ứng dụng có kết quả rõ rệt trong mô phỏng thử nghiệm cho khu vực Hà Nội.

Lợi ích của số liệu vệ tinh MODIS được đồng hóa áp dụng trong hệ thống mô hình WRF-CMAQ cải thiện tính chính xác của đầu vào mô hình (IC, BC, và lượng khí thải) và dự báo. Số liệu AOD từ vệ tinh MODIS đã được đồng hóa vào CCTM đã cải thiện hiệu suất về nồng độ ô nhiễm không khí trên bề mặt và chất lượng không khí tái phân tích tốt hơn.

Việc đồng hóa số liệu aerosol còn được gọi là độ sâu quang học được trích xuất từ số liệu vệ tinh MODIS Terra/Aqua Aerosol 5-Min L2 Swath 3 km cải thiện đáng kể kết quả ước tính nồng độ PM<sub>2.5</sub> trên hệ thống mô hình WRF-CMAQ. Hiệu suất mô hình đã được cải thiện với sự đồng hóa số liệu này.

Nghiên cứu của luận án này đã xây dựng được quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh AOD, cung cấp nguồn số liệu đầu vào cho mô hình chất lượng không khí CMAQ phục vụ công tác dự báo chất lượng không khí phù hợp với điều kiện của Việt Nam khi mật độ các trạm quan trắc trực tiếp còn thưa, đặc biệt có ý nghĩa quan trọng đối với các khu vực chưa được lắp đặt các trạm quan trắc.

Nói chung, việc đồng hóa các số liệu vệ tinh cho mô hình chất lượng không khí mang lại lợi ích đáng kể khi các số liệu quan trắc truyền thống chỉ ở dạng điểm (mặc dù có thể có nhiều trạm quan trắc) và trên bề mặt đất không đủ đáp ứng yêu cầu của việc đánh giá chất

lượng không khí. Đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình chất lượng không khí mở ra một phương pháp mới nhằm cung cấp một công cụ cho công tác đánh giá chất lượng không khí.

### **Kiến nghị**

Dựa trên kết quả nghiên cứu, một số kiến nghị được nêu ra với mục đích tạo được công cụ cho công tác giám sát môi trường không khí, cụ thể như sau:

- Xây dựng bộ số liệu phát thải cho khu vực Việt Nam và các vùng lân cận cung cấp số liệu đầu vào cho mô hình CMAQ, nâng cao chất lượng kết quả mô phỏng, dự báo chất lượng không khí cho Việt Nam.

- Nghiên cứu ứng dụng các loại ảnh vệ tinh có độ phân giải cao hơn (cả về không gian và thời gian) nhằm tận dụng tính ưu việt của viễn thám đa phổ, đa thời gian và tức thời trên diện rộng đồng thời cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ nhằm tăng cường chất lượng và hiệu suất của mô hình trong việc đánh giá chất lượng không khí phục vụ các quản lý hoạch định các chính sách nhằm nâng cao chất lượng không khí cho cộng đồng.

- Kết quả của nghiên cứu này cần được phát triển để ứng dụng trong đánh giá chất lượng không khí phục vụ công tác đánh giá, dự báo xu hướng nhằm điều chỉnh các hoạt động của con người góp phần nâng cao chất lượng không khí cũng như sức khỏe của cộng đồng.

- Ngoài hệ thống mô hình WRF-CMAQ, hiện nay mô hình WRF-Chem đã được phát triển bởi cộng đồng người dùng và ngày càng phát triển, vì vậy việc nghiên cứu đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình này cũng là mục đích cần được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng trong cuộc sống.

## **DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. Trần Đăng Hùng, Doãn Hà Phong, Hoàng Thanh Tùng, Nguyễn Ngọc Anh, Lê Phương Hà, Nguyễn Thị Minh Hằng, Nguyễn Ngọc Kim Phượng, **Nguyễn Hải Đông** (2017), “Ứng dụng công nghệ GIS và vệ tinh giám sát thay đổi hàm lượng bụi PM<sub>2.5</sub> ở miền bắc Việt Nam (2000 - 2005 - 2010)”, *Tuyển tập Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu*, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Tr. 476-482.
2. **Nguyễn Hải Đông**, Doãn Hà Phong (2020), “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”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, 718, 10-2020, ISSN 2525 - 2208.
3. **Nguyễn Hải Đông**, Doãn Hà Phong, Lê Ngọc Cầu (2020), “Ứng dụng phương pháp 4DVAR đồng hóa dữ liệu AOD từ vệ tinh MODIS phục vụ dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> khu vực Hà Nội”, *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, 16, IV-2020, ISSN 2525 - 2495.