

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ
QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

Hà Nội - 2021

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ
QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

Tác giả luận án

Giáo viên hướng dẫn 1

Giáo viên hướng dẫn 2



Nguyễn Hải Đông

PGS.TS. Doãn Hà Phong

TS. Lê Ngọc Cầu

Hà Nội - 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong Luận án này là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

Tác giả luận án

Nguyễn Hải Đông

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trung tâm Dịch vụ viễn thám và địa tin học (nay là Trung tâm Triển khai công nghệ viễn thám), Cục viễn thám quốc gia đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành Luận án. Tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn tới Trung tâm Quan trắc Môi trường, Tổng Cục Môi trường, Chi Cục Bảo vệ môi trường, Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội đã cung cấp số liệu quan trắc cần thiết cho việc hoàn thành nghiên cứu của tác giả.

Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt tới hai thầy hướng dẫn là PGS.TS. Doãn Hà Phong và TS. Lê Ngọc Cầu đã tận tình giúp đỡ tác giả từ những bước đầu tiên xây dựng hướng nghiên cứu, cũng như trong suốt quá trình nghiên cứu và hoàn thiện Luận án. Hai thầy luôn ủng hộ, động viên và hỗ trợ những điều kiện tốt nhất để tác giả hoàn thành Luận án. Tác giả trân trọng cảm ơn PGS.TS. Dương Hồng Sơn đã tạo điều kiện thuận lợi về tài liệu, số liệu tính toán phục vụ Luận án.

Tác giả chân thành cảm ơn các chuyên gia, các nhà khoa học trong và ngoài Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu và các cơ quan hữu quan đã có những góp ý về khoa học cũng như hỗ trợ nguồn tài liệu, số liệu cho tác giả trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn tới những người thân yêu trong gia đình đã luôn ở bên cạnh, động viên cả về vật chất và tinh thần để tác giả hoàn thành tốt Luận án của mình.

Tác giả luận án

Nguyễn Hải Đông

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC HÌNH	viii
DANH MỤC BẢNG	xii
MỞ ĐẦU	1
1. Đặt vấn đề, lý do lựa chọn đề tài	1
2. Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu	4
<i>2.1. Mục tiêu nghiên cứu</i>	<i>4</i>
<i>2.2. Nhiệm vụ nghiên cứu</i>	<i>4</i>
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	5
4. Phương pháp nghiên cứu	6
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	6
<i>5.1. Ý nghĩa khoa học</i>	<i>6</i>
<i>5.2. Ý nghĩa thực tiễn</i>	<i>7</i>
6. Đóng góp mới	7
7. Luận điểm bảo vệ	7
8. Bố cục của luận án	7
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG HÓA	8
1.1. Tổng quan các phương pháp quan trắc môi trường	8
<i>1.1.1. Các phương pháp quan trắc môi trường</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2. Phân tích, đánh giá</i>	<i>21</i>
1.2. Khái niệm, tổng quan các phương pháp đồng hóa	25
<i>1.2.1. Khái niệm</i>	<i>25</i>
<i>1.2.2. Tổng quan các phương pháp đồng hóa</i>	<i>27</i>
1.2.2.1. Nghiên cứu phương pháp đồng hóa số liệu trên Thế giới....	31
1.2.2.2. Nghiên cứu phương pháp đồng hóa số liệu ở Việt Nam.....	33

1.3. Tổng quan đồng hóa số liệu khí tượng và hóa học khí quyển.....	35
1.3.1. Đồng hóa số liệu khí tượng học	36
1.3.2. Đồng hóa số liệu trong hóa học khí quyển.....	38
1.3.2.1. Đồng hóa số liệu trong các mô hình hóa học.....	38
1.3.2.2. Đồng hóa số liệu vệ tinh trong giám sát ô nhiễm không khí	41
Tiểu kết chương 1.....	50
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ TOÁN HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.	52
2.1. Đối tượng, phạm vi và mục tiêu nghiên cứu.....	52
2.2. Kỹ thuật đồng hóa số liệu.....	56
2.2.1. Thuật toán của bộ lọc Kalman mở rộng.....	57
2.2.2. Thuật toán của bộ lọc Kalman tổ hợp.....	63
2.3. Đồng hóa số liệu trong mô hình WRF.....	68
2.3.1. Hiệp phương sai lỗi nền	70
2.3.2. Hệ thống WRF-3DVAR.....	72
2.3.3. Hệ thống WRF-4DVAR.....	73
2.4. Áp dụng kỹ thuật 4DVAR để đồng hóa số liệu vệ tinh MODIS....	78
2.4.1. Số liệu vệ tinh MODIS.....	78
2.4.2. Đồng hóa số liệu AOD từ số liệu vệ tinh MODIS.....	81
Tiểu kết chương 2.....	86
CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU VỆ TINH CHO HỆ THỐNG MÔ HÌNH WRF-CMAQ.....	87
3.1. Mô tả các bước của quá trình thực nghiệm.....	87
3.2. Kết quả mô phỏng thực nghiệm	103
3.2.1. Kết quả mô phỏng vào mùa mưa.....	103
3.2.2. Kết quả mô phỏng vào mùa khô.....	110
Tiểu kết chương 3.....	125
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	127

TÀI LIỆU THAM KHẢO	130
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	145
PHỤ LỤC	146
1. Quy trình các bước thực hiện mô phỏng	148
<i>1.1. Hệ thống tiền xử lý.....</i>	<i>148</i>
<i>1.2. Loại bỏ sai số thô.....</i>	<i>150</i>
<i>1.3. Hệ thống xử lý ARW - mô hình WRF.....</i>	<i>153</i>
1.3.1. Khởi tạo số liệu thực	155
1.3.2. Module đồng hóa số liệu	155
1.3.3. Mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết	160
<i>1.4. Mô hình chất lượng không khí đa qui mô.....</i>	<i>161</i>
1.4.1. Tính toán tốc độ quang phân	161
1.4.2. Xử lý điều kiện ban đầu	162
1.4.3. Xử lý điều kiện biên	163
1.4.4. Mô hình vận chuyển hóa học	163
2. Thống kê một vài số liệu và hình ảnh kết quả của quá trình mô phỏng thực nghiệm	166

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

3DVAR	Three-demiensional variational - Biến phân ba chiều
4DVAR	Four-demiensional variational - Biến phân bốn chiều
AOD	Aerosol Optical Depth - Độ sâu quang học sol khí
AOT	Aerosol Optical Thickness - Độ dày quang học sol khí
AQI	Air Quality Index - Chỉ số chất lượng không khí
BĐKH	Biến đổi khí hậu
BLUE	Best Linear Unbiased Estimate - Ước tính không thiên vị tuyến tính tốt nhất
CCTM	CMAQ Chemistry-Transport Model - Mô hình Hóa học-Vận chuyển CMAQ
CLKK	Chất lượng không khí
CMAQ	Community Multi-scale Air Quality - Chất lượng không khí đa quy mô
DOS	Darkest Object Subtraction - Phép trừ vật thể tối nhất
ĐHBP	Đồng hóa biến phân
ĐHD	Đồng hóa dãy
ĐHDL	Đồng hóa số liệu
EnKF	Ensemble Kalman filter - Bộ lọc Kalman tổ hợp
FDDA	Four-Dimensional Data Assimilation - Đồng hóa số liệu bốn chiều
GOCART	Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport - Goddard hóa học bức xạ và vận chuyển Aerosol
GPS	Global Positioning System - Hệ thống định vị toàn cầu
GPS/MET	Global Positioning System/Meteorology - Hệ thống định vị toàn cầu/Khí tượng
I/O API	Input/Output Applications Programming Interface - Giao diện lập trình ứng dụng đầu vào/đầu ra

LETKF	Local Ensemble Transform Kalman Filter - Bộ lọc Kalman biến đổi cục bộ
MM5	Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model - Mô hình Mesoscale thế hệ thứ năm
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - Máy đo quang phổ hình ảnh có độ phân giải vừa phải
NASA	National Aeronautics and Space Administration - Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia
NCAR	National Center for Atmospheric Research - Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia
NCEP	National Centers for Environmental Prediction - Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration - Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia
NWP	Numerical Weather Prediction - Dự báo thời tiết dạng số
OD	Optical Depth - Độ sâu quang học
OI	Optimal interpolation - Nội suy tối ưu
OMI	Ozone Monitoring Instrument - Công cụ giám sát ôzôn
PM	Particulate Matter - Vật chất dạng hạt (trong khuôn khổ của nghiên cứu này được gọi là BUI)
SMOKE	Sparse Matrix Operator Kernel Emissions - Điều khiển ma trận rời rạc phát thải Kernel
WRF	The Weather Research and Forecasting Model - Mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết

DANH MỤC HÌNH

<i>Hình 2.1: Các bước chính dự báo và quan trắc của bộ lọc EKF</i>	62
<i>Hình 2.2: Mối quan hệ giữa các thành phần của WRFDA với các thành phần của hệ thống WRF.....</i>	69
<i>Hình 2.3: Định dạng LITTLE_R của số liệu AOD từ vệ tinh MODIS.....</i>	83
<i>Hình 2.4: Cửa sổ thời gian phân tích của OBSPROC - 3DVAR.....</i>	84
<i>Hình 2.5: Cửa sổ thời gian phân tích của OBSPROC - 4DVAR.....</i>	84
<i>Hình 3.1: Sơ đồ các bước thực hiện mô phỏng thực nghiệm.....</i>	87
<i>Hình 3.2: Domain (nét màu đỏ) và nest (nét màu vàng) khu vực Hà Nội. 90</i>	90
<i>Hình 3.3: Tổng hợp số liệu quan trắc tại trạm Nguyễn Văn Cừ năm 2015</i>	92
<i>Hình 3.4: Số liệu PM_{2.5} tháng 01, 02/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ.....</i>	93
<i>Hình 3.5: Tổng hợp số liệu quan trắc tại các trạm cố định năm 2017, 2019</i>	96
<i>Hình 3.6: Ảnh MODIS_3K ngày 01/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)</i>	100
<i>Hình 3.7: Ảnh MODIS_3K ngày 14/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)</i>	100
<i>Hình 3.8: Ảnh MODIS_3K ngày 16/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)</i>	101
<i>Hình 3.9: Ảnh MODIS_3K ngày 14/07/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)</i>	101
<i>Hình 3.10: Ảnh MODIS_3K ngày 13/07/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)</i>	102

- Hình 3.11: Ảnh MODIS_3K ngày 10/08/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải) 102
- 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. 104
- Hình 3.13: 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 05/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ. 105
- Hình 3.14: 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 Trung Yên 108
- 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 109
- 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. 111
- Hình 3.17: 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 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ. 112
- Hình 3.18: 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 Trung Yên 115
- Hình 3.19: 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 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Trung Yên 116

<i>Hình 3.20: 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 11/07/2017 tại trạm Minh Khai.....</i>	<i>117</i>
<i>Hình 3.21: 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 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Minh Khai.....</i>	<i>118</i>
<i>Hình 3.22: 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 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 tại trạm Trung Yên.....</i>	<i>121</i>
<i>Hình 3.23: 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 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 tại trạm Minh Khai.....</i>	<i>122</i>
<i>Hình PL.01: Sơ đồ các bước cài đặt hệ thống WRF-CMAQ trên Ubuntu 16.04.....</i>	<i>147</i>
<i>Hình PL.02: Sơ đồ hệ thống tiền xử lý WPS và hệ thống WRF.....</i>	<i>148</i>
<i>Hình PL.03: Sơ đồ của quá trình phân tích khách quan.....</i>	<i>151</i>
<i>Hình PL.04: Sơ đồ dòng số liệu trong hệ thống WRF.....</i>	<i>154</i>
<i>Hình PL.05: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 19/01/2015.....</i>	<i>240</i>
<i>Hình PL.06: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 19/01/2015.....</i>	<i>243</i>
<i>Hình PL.07: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 08/02/2015.....</i>	<i>246</i>

<i>Hình PL.08: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 07/07/2017.....</i>	<i>249</i>
<i>Hình PL.09: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 09/09/2017.....</i>	<i>252</i>
<i>Hình PL.10: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 08/02/2019.....</i>	<i>255</i>
<i>Hình PL.11: Kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 09/09/2019.....</i>	<i>258</i>

DANH MỤC BẢNG

<i>Bảng 1.1. Giá trị giới hạn các thông số cơ bản trong không khí xung quanh.</i>	9
<i>Bảng PL.01: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015.</i>	166
<i>Bảng PL.02: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015.</i>	172
<i>Bảng PL.03: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017.</i>	178
<i>Bảng PL.04: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017.</i>	184
<i>Bảng PL.05: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017.</i>	190
<i>Bảng PL.06: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017.</i>	196
<i>Bảng PL.07: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017.</i>	202

<i>Bảng PL.08: Số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017.....</i>	<i>208</i>
<i>Bảng PL.09: Số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019.....</i>	<i>214</i>
<i>Bảng PL.10: Số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019.....</i>	<i>220</i>
<i>Bảng PL.11: Số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019.....</i>	<i>226</i>
<i>Bảng PL.12: Số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019.....</i>	<i>232</i>

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề, lý do lựa chọn 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.

Thành phần chính của không khí bao gồm nito (78,1% theo thể tích), và oxy (20,9%), với một lượng nhỏ argon (0,9%), điôxít cacbonic (dao động khoảng 0,035%), hơi nước và một số chất khí khác như mêtan, oxít nito, monoxít cacbon, hydro, ôzôn, hêli, nêon, kripton và xênon. Ngoài ra, còn có các phân tử bụi, khói, phân tử muối, phân tử tro núi lửa, bụi thiên thạch và phân hoa của khí quyển phủ dày đặc ở gần bề mặt của Trái Đất và nồng độ loãng dần ở phía ngoài bầu khí quyển bảo vệ cuộc sống trên Trái Đất bằng cách hấp thụ các bức xạ tia cực tím của Mặt Trời và tạo ra sự thay đổi về nhiệt độ giữa ngày và đêm [7].

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].

Ô nhiễm không khí là một vấn đề lớn mà tất cả các quốc gia trên thế giới phải đối mặt, tốc độ phát triển đô thị và công nghiệp nhanh chóng đã dẫn đến một lượng lớn các chất thải độc hại tiềm tàng được thải vào khí quyển. Hậu quả là ô nhiễm không khí ảnh hưởng đến sức khỏe và hạnh phúc của con người, gây thiệt hại trên diện rộng cho thảm thực vật, cây trồng, động vật hoang dã và khí hậu, làm cạn kiệt các nguồn tài nguyên thiên nhiên cần thiết cho phát triển kinh tế lâu dài.

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 bụi PM_{2.5} và bụi PM₁₀, 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 bụi 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 nguồn gốc, 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.

Trên thực tế, nồng độ của các chất trong không khí được quyết định bởi sự vận chuyển, khuếch tán, biến đổi hóa học theo thời gian và lắng đọng trên bề mặt. Do đó đối với cả phương pháp đo đạc bằng các thiết bị tại các trạm quan trắc đặt trên mặt đất và phương pháp viễn thám đều không thể mô tả được quá trình vận chuyển, khuếch tán và biến đổi hóa học. Trong khi đó, phương pháp mô hình hóa, cụ thể là mô hình CLKK là công cụ số một được sử dụng để mô tả mối quan hệ nhân quả giữa khí thải, khí tượng, nồng độ các chất trong không khí, sự lắng đọng và các yếu tố hóa học khác. Mô hình CLKK có thể mô

tả phương pháp xác định đầy đủ hơn về vấn đề chất lượng không khí, bao gồm phân tích các yếu tố và nguyên nhân (nguồn phát thải, quá trình khí tượng và các thay đổi vật lý và hóa học) và một số định hướng về việc thực hiện các biện pháp giảm thiểu [8].

Hệ thống mô hình chất lượng không khí đa quy 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. Đây là một hệ thống mô hình chạy trên hệ điều hành Linux hoàn toàn miễn phí. CMAQ tiếp cận chất lượng không khí một cách tổng quát với các kỹ thuật hiện đại trong các vấn đề về CLKK, bao gồm khí ôzôn trên tầng đối lưu, độc tố, bụi mịn, lắng đọng a xít, suy giảm tầm nhìn và nhiều loại độc tố trong không khí. CMAQ cũng được thiết kế đa quy mô để không phải tạo ra các mô hình riêng biệt cho vùng đô thị hay nông thôn. Độ phân giải và kích thước miền tính có thể khác nhau một vài bậc đại lượng theo không gian và thời gian. Tính mềm dẻo theo thời gian cho phép thực hiện các mô phỏng nhằm đánh giá dài hạn các chất ô nhiễm hay lan truyền ngắn hạn mang tính địa phương. Tính mềm dẻo theo không gian cho phép sử dụng CMAQ để mô phỏng quy mô đô thị hay khu vực [91].

Tuy vậy, đối với phương pháp mô hình hóa, yếu tố số liệu đầu vào của mô hình có vai trò rất quan trọng, quyết định đến độ chính xác của kết quả mô phỏng và dự báo CLKK đầu ra. Yếu tố đầu vào của mô hình bao gồm các yếu tố liên quan đến khí tượng như độ ẩm, gió, nhiệt độ; các yếu tố trạng thái CLKK và yếu tố địa hình, lớp phủ. Tuy nhiên, trên thực tế hiện nay, chưa có một phương pháp nào có khả năng cung cấp hoàn chỉnh toàn bộ số liệu đầu vào cho mô hình chất lượng không khí mà cần phải có sự tích hợp từ nhiều nguồn số liệu khác nhau; từ nhiều phương pháp trích xuất số 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 [4], [9], [11].

Với nhu cầu cấp bách của xã hội về giám sát CLKK, trong nghiên cứu này, tác giả sẽ tập trung vào nghiên cứu tìm ra giải pháp kỹ thuật tích hợp số liệu vệ tinh trên cơ sở phương pháp đồng hóa số liệu để xây dựng được bộ số liệu đầu vào cho mô hình CMAQ thử nghiệm tại khu vực Hà Nội. 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 lựa chọn.

Để thực hiện 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 và nhiệm vụ nghiên cứu

2.1. 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.

2.2. Nhiệm vụ nghiên cứu

a) *Thu thập tài liệu:* Thu thập các tài liệu liên quan đến vấn đề nghiên cứu; tài liệu về khu vực nghiên cứu; tài liệu về mô hình WRF (The Weather Research and Forecasting Model) và mô hình CMAQ.

b) Thu thập các số liệu: Số liệu khí tượng: nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, tốc độ gió, hướng gió, bức xạ; Số liệu nồng độ các thành phần hạt PM₁₀ và PM_{2.5}; Số liệu độ sâu quang học (Aerosol Optical Depth - AOD) từ vệ tinh MODIS; Số liệu phát thải; và các số liệu khác có liên quan đến mô phỏng chất lượng không khí.

c) Các nội dung nghiên cứu:

- Nghiên cứu các phương pháp, thuật toán đồng hóa số liệu, xác định được phương pháp đồng hóa tối ưu.

- Nghiên cứu hệ thống mô hình WRF-CMAQ: cài đặt các module của hệ thống mô hình; module đồng hóa số liệu; lựa chọn phương pháp đồng hóa tối ưu được áp dụng trong hệ thống mô hình; yêu cầu số liệu đầu vào cho mô hình, số liệu cho module đồng hóa; các bước mô phỏng của mô hình; kết quả đầu ra; các module xử lý kết quả.

- Nghiên cứu phương pháp xử lý số liệu khí tượng, số liệu vệ tinh và số liệu phát thải; xây dựng bộ số liệu khí tượng đầu vào cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ; xử lý số liệu vệ tinh đáp ứng mục đích đồng hóa; xử lý số liệu phát thải cho mô hình CMAQ.

- Nghiên cứu xây dựng quy trình mô phỏng chất lượng không khí có và không có đồng hóa số liệu vệ tinh trên hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

d) Thực nghiệm mô phỏng trên hệ thống mô hình WRF-CMAQ: Xác định miền mô phỏng trên cơ sở khu vực thực nghiệm; Xác định thời gian mô phỏng trên cơ sở số liệu thu thập được; Tiến hành mô phỏng theo quy trình đã xây dựng; Nghiên cứu, phân tích, so sánh kết quả mô phỏng theo quy trình có và không có đồng hóa số liệu vệ tinh; Đánh giá tác động của quá trình đồng hóa đến kết quả mô phỏng.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu

Nồng độ bụi mịn $PM_{2.5}$; Hệ thống mô hình WRF-CMAQ; Phép lọc Kalman; Dữ liệu viễn thám Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS); Độ sâu quang học AOD.

- Phạm vi nghiên cứu

Theo các số liệu đã được công bố, Hà Nội là một trong hai địa phương của Việt Nam thường xuyên có tình trạng ô nhiễm không khí ở mức cao. Mặt khác, số liệu tại các trạm quan trắc do nghiên cứu sinh thu thập được, để sử dụng làm đối sánh với kết quả mô phỏng, là số liệu quan trắc cho các năm 2015, 2017 và 2019. Do vậy, phạm vi nghiên cứu được xác định, cụ thể như sau:

+ Phạm vi không gian: nghiên cứu trên phạm vi khu vực Hà Nội và các vùng lân cận;

+ Phạm vi thời gian: nghiên cứu qua 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.

4. Phương pháp nghiên cứu

- 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 $PM_{2.5}$ từ kết quả của mô hình theo thời gian mô phỏng;

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

5.1. Ý nghĩa khoa học

- 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 cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ trong việc mô phỏng, đánh giá chất lượng không khí tại khu vực Hà Nội.

- Luận án xây dựng được quy trình đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình chất lượng khí đa quy mô 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.

5.2. 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.

6. Đóng góp mới

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.

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. Bộ 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

1.1.1. Các phương pháp quan trắc môi trường

Theo Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 [5], thành phần môi trường là yếu tố vật chất tạo thành môi trường gồm đất, nước, không khí, sinh vật, âm thanh, ánh sáng và các hình thái vật chất khác. Quan trắc môi trường là việc theo dõi liên tục, định kỳ, đột xuất có hệ thống về thành phần môi trường, các nhân tố tác động đến môi trường, chất thải nhằm cung cấp thông tin đánh giá hiện trạng môi trường, diễn biến chất lượng môi trường và tác động xấu đến chất lượng môi trường.

Theo tác giả Andrew Knox [53], giám sát ô nhiễm không khí là việc sử dụng các công cụ, phương pháp khoa học và toán học để đánh giá nồng độ hoặc tốc độ phát thải các chất gây ô nhiễm không khí. Có nghĩa là, giám sát ô nhiễm không khí là sự theo dõi, quan sát mang tính chủ động thường xuyên của cơ quan chức năng đối với CLKK và sự tác động bằng các biện pháp tích cực nhằm hạn chế tình trạng ô nhiễm không khí, bảo đảm sự tác động của ô nhiễm không khí đến sức khỏe, đời sống, hoạt động xã hội của người dân ở mức thấp nhất.

Ở Việt Nam, công tác giám sát ô nhiễm không khí dựa trên cơ sở các số liệu quan trắc được theo quy định cụ thể của từng thành phần vật chất gây ô nhiễm tồn tại trong không khí được quy định tại Thông tư số 24/2017/TT-BTNMT ngày 01 tháng 9 năm 2017 [2].

Theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về CLKK xung quanh QCVN 05:2013/BTNMT được Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành năm 2013 [1], giá trị giới hạn của các thông số cơ bản trong không khí xung quanh được quy định tại *Bảng 1.1*.

*Bảng 1.1. Giá trị giới hạn các thông số cơ bản trong không khí xung quanh.
Đơn vị: Microgam trên mét khối ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*

TT	Thông số	Trung bình 1 giờ	Trung bình 8 giờ	Trung bình 24 giờ	Trung bình năm
1	SO ₂	350	-	125	50
2	CO	30.000	10.000	-	-
3	NO ₂	200	-	100	40
4	O ₃	200	120	-	-
5	Tổng bụi lơ lửng (TSP)	300	-	200	100
6	Bụi PM ₁₀	-	-	150	50
7	Bụi PM _{2.5}	-	-	50	25
8	Pb	-	-	1,5	0,5
Ghi chú: dấu (-) là không quy định					

Cũng theo QCVN 05:2013/BTNMT, đối với mỗi một loại thông số cơ bản trong không khí được quy định một phương pháp phân tích xác định khác nhau nhưng chủ yếu dựa trên việc xác định nồng độ khối lượng của chúng trong không khí.

a) Phương pháp xác định bằng thiết bị quan trắc

a.1) Thiết bị quan trắc đặt tại trạm quan trắc mặt đất

Ở Việt Nam, 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 của được quy định tại QCVN 05:2013/BTNMT và Thông tư số 24/2017/TT-BTNMT, cụ thể như sau:

- Xác định nồng độ khối lượng của Sunfua điôxit (SO₂) bằng phương pháp huỳnh quang cực tím theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7726:2007 [15]: phương pháp này dựa vào phát xạ ánh sáng huỳnh quang do các phân tử SO₂ trước đó đã được kích hoạt bởi bức xạ UV. Kỹ thuật đo này ít bị các chất hóa học gây nhiễu so với các kỹ thuật hiện hành khác, tuy nhiên, các hợp chất sau đây có thể ảnh hưởng đến phép xác định lưu huỳnh điôxit: hydro sunfua,

hydrocacbon vòng, oxit nitric, nước và các hợp chất mecaptan có khối lượng phân tử thấp.

- Xác định nồng độ khối lượng của nitơ điôxit (NO_2) bằng phương pháp Griess-Saltzman cải biên theo TCVN 6137:2009 [16]: Nitơ điôxit có mặt trong mẫu khí được hấp thụ bằng cách cho đi qua thuốc thử tạo phẩm màu trong khoảng thời gian xác định. Độ hấp thụ của dung dịch mẫu sau đó được đo ở bước sóng giữa 540 nm và 550 nm bằng quang phổ kế phù hợp. Nồng độ khối lượng tương ứng của nitơ điôxit được xác định từ đường chuẩn của độ hấp thụ.

- Xác định nồng độ khối lượng của carbon monoxit (CO) bằng phương pháp đo phổ hồng ngoại không phân tán theo TCVN 7725:2007 [14]: Mẫu không khí được đưa vào máy đo phổ hồng ngoại không phân tán (NDIR). Máy đo phổ đo độ hấp thụ của CO tại bước sóng 4,7 μm dùng hai chùm tia hồng ngoại song song trong đó một chùm tia đi qua ngăn chứa mẫu, một chùm tia đi qua ngăn đối chứng và một detector chọn lọc. Tín hiệu của detector đi vào bộ kiểm soát khuếch đại và tín hiệu đầu ra của thiết bị phân tích được hiển thị trên đồng hồ và hệ thống ghi, lưu giữ dữ liệu.

- Xác định nồng độ khối lượng của ôzôn (O_3) trong không khí xung quanh bằng phương pháp huỳnh quang cực tím theo TCVN 7171:2002 [13]: Mẫu khí đi liên tục qua cuvet, ở đó tia UV từ đèn thủy ngân (Hg) áp suất thấp ở bước sóng 253,7 nm chiếu vào. Nồng độ ôzôn trong không khí xung quanh được đo bằng sự hấp thụ tia UV của mẫu khí trong cuvet.

- Xác định nồng độ bụi: Có nhiều phương pháp và thiết bị khác nhau để xác định nồng độ bụi cho các môi trường khác nhau. Khi xác định nồng độ bụi trong không khí, các yếu tố sau đây phải được tính đến: (i) tổng nồng độ khối lượng của bụi, (ii) nồng độ của các loại bụi, (iii) phân bố kích thước bụi, (iv) thành phần hóa học. Bụi trong không khí được chia thành loại có thể hô hấp và tổng số. Bụi có thể hô hấp là các hạt có đường kính khí động học dưới 7,0 μm . Tổng số bụi là toàn bộ các hạt có thể được thu thập dưới dạng hạt trong không

khí và không cần tách bụi hô hấp. Kết quả xác định nồng độ bụi trong không khí được biểu thị bằng mg/m^3 .

Phương pháp xác định hàm lượng tổng bụi lơ lửng (TSP) theo tiêu chuẩn TCVN 5067:1995 [12] dựa trên việc cân lượng bụi thu được trên cái lọc, sau khi lọc một thể tích không khí xác định.

Đối với việc xác định nồng độ bụi PM_{10} (Particulate Matter) và $\text{PM}_{2.5}$ có thể áp dụng các phương pháp: phương pháp trọng lượng lấy mẫu chia đôi theo tiêu chuẩn AS/NZS 3580.9.7:2009 [92]; phương pháp dựa trên sự hấp thụ tia beta của bụi; phân tích nồng độ bụi bằng phương pháp tán xạ ánh sáng.

Trước năm 2016, Hà Nội có trạm quan trắc đặt tại Trung tâm Quan trắc môi trường, đường Nguyễn Văn Cừ, đây là một trạm quan trắc cố định. Thiết bị đặt tại trạm này sử dụng phương pháp tán xạ ánh sáng để xác định nồng độ bụi PM_{10} và $\text{PM}_{2.5}$.

Năm 2016, Hà Nội đã đưa vào vận hành thêm 10 trạm quan trắc môi trường không khí tự động liên tục, gồm 2 trạm cố định và 8 trạm cảm biến. Hai trạm cố định quan trắc 6 chỉ tiêu chính, bao gồm: bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_x , CO, O_3 và SO_2 . Ngoài ra, còn quan trắc thêm các thông số khí tượng có thể ảnh hưởng đến CLKK như: áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, hướng gió, tốc độ gió, bức xạ mặt trời. Tám trạm cảm biến quan trắc 4 thông số ô nhiễm PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO, NO_2 và thông số khí tượng (Nguồn: *moitruongthudo.vn*). Đối với bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, thiết bị tại 02 trạm này sử dụng phương pháp dựa trên sự hấp thụ tia beta của bụi. Đến tháng 5/2020, Hà Nội tiếp nhận thêm 24 trạm cảm biến quan trắc môi trường không khí tự động do Hàn Quốc tài trợ.

Với mục tiêu của hệ thống quan trắc không khí tự động: Định lượng và diễn biến chất lượng không khí theo thời gian; Xác định hiệu quả giám sát chất lượng không khí của từng vùng để đánh giá các biện pháp kiểm soát về phát thải. Đồng thời, xác định mối quan hệ giữa nguồn phát thải và hệ tiếp nhận để nghiên cứu và đánh giá các xu thế ô nhiễm của chất lượng không khí trong

tương lai, để tiến hành các biện pháp khẩn cấp tại những vùng có ô nhiễm đặc biệt. Cung cấp số liệu đầu vào cho mô hình hóa để lập kế hoạch phát triển vùng bền vững và hợp lý.

Để xác định nồng độ khối lượng của các thông số cơ bản trong không khí, phương pháp quang phổ thường được sử dụng. Phương pháp quang phổ sử dụng sự hấp thụ bức xạ hồng ngoại (infra-red - IR), nhìn thấy (Visible Spectrum - VIS) hoặc tia cực tím (Ultraviolet - UV) bởi các chất khí làm hiệu ứng đo. Dải độ dài sóng của IR (1.000 - 10.000 nm), VIS (400 - 800 nm) và UV (khoảng 200 - 400 nm). Trong quá trình này, các chất khí hấp thụ năng lượng trong các dải độ dài sóng nhất định được gọi là dải hấp thụ. Trên cơ sở đo sự mất cường độ bức xạ do quá trình hấp thụ gây ra sẽ quan trắc được các thành phần ô nhiễm không khí; đó là nguyên lý để phát triển các máy đo chất lượng không khí bằng quang phổ.

Với phương pháp này có thể quan trắc được các thành phần chất lượng không khí như CO, CO₂, NO, SO₂, H₂O, CH₄, C₂H₆ và một số loại hydrocarbons. Trong phương pháp này, kỹ thuật huỳnh quang đo cường độ phát sáng gây ra bởi sự kích thích của các phân tử thông qua bức xạ UV của một bước sóng nhất định. Kỹ thuật này thường áp dụng để xác định thành phần SO₂ trong không khí. Nồng độ SO₂ càng cao thì huỳnh quang càng lớn. Ngoài ra còn có kỹ thuật hóa chất phát quang đo cường độ bức xạ. Cường độ của bức xạ được tạo ra là thước đo nồng độ của khí phản ứng trong hỗn hợp khí, nếu các điều kiện bên ngoài (áp suất, nhiệt độ và lưu lượng thể tích của khí đo) được giữ không đổi. Kỹ thuật này được sử dụng chủ yếu để đo NO, NO_x và O₃ [92], [45].

a.2) Thiết bị quan trắc đặt trên vệ tinh (viễn thám)

Từ những năm đầu thập kỷ 70 khi vệ tinh dân sự giám sát tài nguyên bề mặt Trái đất LANDSAT-1 của Mỹ được đưa lên quỹ đạo, các nhà khoa học ở

các nước phát triển đã tiến hành nghiên cứu ô nhiễm môi trường không khí bằng tư liệu viễn thám dựa trên đặc điểm tán xạ sóng điện từ của các hạt bụi ô nhiễm trong khí quyển.

Theo Ohring G. và cộng sự (1973) [65] thì ô nhiễm không khí chủ yếu xảy ra ở tầng đối lưu của khí quyển, tạo thành một lớp mù khí quyển và gọi là lớp sol khí (aerosol). Các nhà khoa học đã đề xuất nhiều phương pháp khác nhau để xác định ô nhiễm không khí từ số liệu vệ tinh như: Phương pháp ước lượng nồng độ bụi ở khu vực đô thị sử dụng tỷ số giữa các kênh phổ của tư liệu LANDSAT TM (Carnahan và cộng sự, 1984) [23]; Phương pháp xác định độ dày quang học của sol khí từ số liệu vệ tinh bằng cách sử dụng hiệu ứng làm mờ tán xạ (Tanre và cộng sự, 1988) [36]; Phương pháp xác định bụi trong không khí bằng cách xây dựng hàm tương quan giữa độ dày sol khí AOD với nồng độ bụi thu được bằng việc đo trực tiếp tại bề mặt sử dụng số liệu vệ tinh Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) và LANDSAT-5/TM (Sifakis và Deschamps, 1992) [78]; và số liệu ảnh viễn thám MODIS và MERIS-ENVISA (Nuno Grosso và cộng sự, 2007 [40]; Retalis và Sifakis, 2009 [79]). Ngoài ra, tư liệu LANDSAT 8 OLI cũng đã được nghiên cứu ứng dụng trong xác định bụi $PM_{2.5}$ và PM_{10} trong không khí (Zhang và cộng sự 2015) [27].

Đối với việc sử dụng số liệu viễn thám để nghiên cứu, xác định một số loại sol khí trong không khí như SO_2 , NO_2 , CO cũng đã được tiến hành [20], [35], [44], [76]. Hiện tại có rất nhiều số liệu vệ tinh chuyên giám sát các thành phần không khí và khí quyển đã được chứng minh là có giá trị đối với lĩnh vực giám sát ô nhiễm không khí. Số liệu chủ yếu được thu thập bởi các thiết bị trên các vệ tinh do Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia (National Aeronautics and Space Administration - NASA), Cơ quan Khí quyển và Đại dương Quốc gia (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) và Cơ quan hàng không vũ trụ Châu Âu (European Space Agency - ESA) vận hành.

Gần đây số liệu vệ tinh Sentinel-5P của ESA chuyên về giám sát các thành phần chất lượng không khí liên quan đến các loại khí ga như CO/CO₂, NO_x, SO_x, O₃. Nhiều nghiên cứu đã thực hiện trên quy mô quốc gia và quy mô châu lục ở khu vực Châu Âu, châu Mỹ như: ứng dụng số liệu từ bộ cảm biến TROPOMI trên vệ tinh Sentinel-5P để giám sát khí CO toàn bộ vùng Bắc Mỹ (Jian Zeng và cộng sự, 2019) [88]; sử dụng số liệu Sentinel-5P để thành lập bản đồ chất lượng không khí, trong đó nghiên cứu đã xây dựng được bản đồ phân bố NO₂ trong không khí tại Công hóa Séc (Jana Doubalov, 2018) [31].

Năm 2014, nhóm tác giả Trần Thị Vân, Nguyễn Phú Khánh, Hà Dương Xuân Bảo thuộc Trường Đại học Bách khoa và Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã nghiên cứu ứng dụng độ dày quang học của ảnh vệ tinh Landsat mô phỏng phân bố bụi PM₁₀ khu vực nội thành Thành phố Hồ Chí Minh [17]. Nghiên cứu này đã xử lý ảnh vệ tinh, tính toán giá trị độ dày quang học sol khí (Aerosol Optical Thickness - AOT) trên ảnh, thực hiện phân tích tương quan, hồi quy giữa giá trị AOT tính toán trên ảnh và nồng độ PM₁₀ đo tại các trạm quan trắc mặt đất để tìm hàm hồi quy tốt nhất, cuối cùng tính toán phân bố nồng độ PM₁₀ trên ảnh. Kết quả của nghiên cứu cho thấy có sự tương quan tốt nhất trên hàm hồi quy phi tuyến dạng đa thức bậc 2. Nghiên cứu này là bước đầu thử nghiệm chứng minh rằng phương pháp viễn thám có thể được xem như một công cụ hữu ích, kinh tế hỗ trợ giám sát chất lượng môi trường không khí ở các thành phố.

Năm 2017, nhóm nghiên cứu 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, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã ứng dụng công nghệ GIS (Geographic Information Systems - Hệ thống thông tin địa lý) và vệ tinh giám sát thay đổi hàm lượng bụi PM_{2.5} ở miền bắc Việt Nam (2000 - 2005 - 2010). Nghiên cứu đã sử dụng

các dữ liệu độ dày quang học của sol khí từ vệ tinh MODIS hay còn gọi là AOD và số liệu PM_{2.5} làm nguồn dữ liệu đầu vào cho mô hình GEOS-Chem xác định mối tương quan và tính toán hệ số hiệu chỉnh với AOD từ vệ tinh sẽ cho kết quả PM_{2.5} bề mặt chính xác. Kết quả của nghiên cứu đã thành lập được bản đồ ô nhiễm nồng độ bụi PM_{2.5} khu vực miền Bắc có thể sử dụng để cung cấp báo cáo thường xuyên cho các nhà chuyên môn và hoạch định trên phạm vi toàn quốc, hỗ trợ công tác quản lý và ra quyết định chính sách về môi trường.

b) Phương pháp mô hình hóa

Theo Cục bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (US EPA) các mô hình môi trường được sử dụng để tái tạo lại các quá trình môi trường xảy ra trong một khoảng thời gian nào đó. Ngày nay, loài người đã hiểu rõ việc tiến hành những thí nghiệm trực tiếp với sinh quyển trái đất là không thể, do vậy xây dựng mô hình là phương tiện quan trọng để nhận thông tin về tình trạng của sinh quyển khi chịu những tác động của con người.

Mô hình là một cấu trúc mô tả hình ảnh đã được tối giản hóa theo đặc điểm hoặc diễn biến của một đối tượng, một hiện tượng, một khái niệm hoặc một hệ thống. Mô hình có thể là một hình ảnh hoặc một vật thể được thu nhỏ hoặc phóng đại, hoặc chỉ làm gọn bằng một phương trình toán học, một công thức vật lý, một phần mềm tin học để mô tả một hiện trạng thực tế mang tính điển hình.

Theo Bùi Tá Long (2008), mô hình hóa môi trường là ngành khoa học mô phỏng hiện tượng lan truyền chất ô nhiễm và các dự báo thay đổi môi trường theo không gian và thời gian [4].

Ngày nay, các loại mô hình đã và đang đóng một vai trò quan trọng các lĩnh vực nghiên cứu khoa học. Phương pháp mô hình được sử dụng như là những công cụ hữu dụng giúp các nhà khoa học thu thập thông tin, số liệu cũng như nghiên cứu các vấn đề mà không nhất thiết phải tiến hành các thí nghiệm

trên thực địa (mô hình vật lý). Phương pháp mô hình hóa, thực chất là dùng các mô hình toán học tính toán, mô tả quá trình vận chuyển, khuếch tán, lắng đọng chất ô nhiễm với sự trợ giúp của máy vi tính.

Phương pháp mô hình hóa đang ngày càng trở nên phổ biến và trở thành một trong những công cụ thiết yếu hỗ trợ trong công tác nghiên cứu khoa học. Việc nắm chắc và thực hiện có hiệu quả phương pháp mô hình hóa sẽ giúp nâng cao chất lượng của kết quả và hỗ trợ công tác nghiên cứu một cách đáng kể.

Mô hình chất lượng môi trường không khí là một công cụ toán học dùng để mô tả các mối quan hệ nhân quả giữa lượng phát thải chất ô nhiễm, điều kiện khí tượng, nồng độ chất ô nhiễm trong không khí, quá trình lắng đọng và các yếu tố khác [91].

Đo đạc chất ô nhiễm môi trường không khí cung cấp thông tin quan trọng, định lượng về nồng độ môi trường không khí xung quanh và lượng lắng đọng tại các địa điểm và thời gian cụ thể. Các số liệu này không đưa ra được những nguyên nhân gây ra suy giảm CLKK.

Mô hình chất lượng môi trường không khí có thể mô tả đầy đủ hơn về các vấn đề chất lượng không khí. Chúng không chỉ phân tích các nguyên nhân, cường độ của nguồn thải, vai trò của các yếu tố khí tượng, các quá trình vật lý và hóa học mà còn có thể đánh giá hiệu quả của một số biện pháp giảm thiểu ô nhiễm.

Mô hình chất lượng môi trường không khí là phương pháp duy nhất định lượng được mối quan hệ giữa lượng thải và nồng độ, bao gồm cả những kết quả của những kịch bản trong quá khứ và tương lai nhằm xác định hiệu quả của các chiến lược giảm nhẹ. Điều này cho thấy các mô hình chất lượng môi trường không khí là công cụ không thể thiếu trong nghiên cứu khoa học cũng như quản lý nhà nước về môi trường [7].

Tại nhiều quốc gia hoặc khu vực, các hệ thống mô hình đã được sử dụng để dự báo chất lượng không khí thường xuyên hoặc tác nghiệp như hệ thống OPANA của châu Âu, GEM-MACH của Canada, WRF-CMAQ của Mỹ.

AERMOD là một mô hình khuếch tán Gauss ổn định chỉ dùng duy nhất số liệu gió để tính toán lan truyền khí thải. AERMOD cũng kết hợp dữ liệu địa lý như: độ cao địa hình, sử dụng đất với dữ liệu khí tượng để tính các thông số lớp biên như độ cao xáo trộn, độ ổn định.

CALPUFF là mô hình khuếch tán Lagrange không ổn định. Ưu điểm của mô hình này so với mô hình Gauss là có thể mô phỏng sự vận chuyển các chất trong điều kiện lặng gió, địa hình phức tạp và các khu vực ven biển với gió biển. Mô hình này có thể sử dụng dữ liệu khí tượng với bước thời gian nhỏ hơn 01 giờ và chạy với các bước thời gian dưới một giờ.

CALMET là một hình chuẩn đoán khí tượng kết hợp dữ liệu từ các trạm mặt đất, trạm cao không, trạm trên biển, trạm đo mưa với dữ liệu địa lý như sử dụng đất, độ cao địa hình để đưa ra trường gió ba chiều theo ô lưới phục vụ mô phỏng của CALPUFF [7].

Theo UCAR, hệ thống mô hình WRF là một mô hình lớn được cộng tác của nhiều cơ quan, tổ chức nhằm phát triển một hệ thống đồng hóa số liệu và dự báo thời tiết qui mô vừa, hiện đại, chính xác, có hiệu suất cao trên máy tính. Khí tượng quy mô vừa (Mesoscale Meteorology) là sự nghiên cứu về các hệ thống thời tiết nhỏ hơn các hệ thống quy mô lớn (synoptic scale) nhưng lớn hơn các hệ thống quy mô nhỏ (microscale) và quy mô bão (storm-scale) như: các trường hợp như xoáy thuận nhiệt đới (tropical cyclones) bão (hurricanes), lũ quét (flash flood), lốc xoáy (tornadoes), giông (thunderstorms), giáng thủy lớn tại địa phương (heavy local precipitation). Còn khí tượng qui mô nhỏ (microscale meteorology) là nghiên cứu các quá trình qui mô nhỏ như rối khí quyển và vận chuyển nhiệt, ẩm và động lượng giữa bề mặt và khí quyển.

Trong dự án phát triển của mô hình WRF có ba phương án triển khai hệ tọa độ đó là: hệ tọa độ Euler theo độ cao hình học, hệ tọa độ Euler theo khối lượng và hệ tọa độ lai bán Lagrange. Hai giải pháp Eulerian khác nhau chủ yếu là về tọa độ thẳng đứng, một dùng độ cao hình học làm tọa độ thẳng đứng còn một thì dùng khối lượng (áp suất thủy tĩnh) làm tọa độ thẳng đứng, ngoài ra còn có vài sự khác nhau là:

- Bề mặt của tọa độ khối lượng thì biến đổi theo áp suất trong khi đó bề mặt của tọa độ độ cao thì cố định.

- Điều kiện biên trên: Tọa độ độ cao dùng điều kiện biên trên là cứng ($w = 0$) hoặc là điều kiện bức xạ ($w \neq 0$) còn tọa độ khối lượng dùng một hằng số hay là áp suất riêng.

Hệ thống mô hình phát thải SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions - SMOKE) là một công cụ hữu ích để ra quyết định về kiểm soát khí thải cho các ứng dụng đô thị và khu vực. Nó cung cấp một cơ chế để chuẩn bị các đầu vào chuyên biệt cho nghiên cứu mô hình chất lượng không khí và giúp cho việc dự báo chất lượng không khí trở nên khả thi do EMC (Environment Modeling Center) công bố năm 1996, và tiếp tục được phát triển tại trường đại học Bắc Carolina, phiên bản hiện nay SMOKE 4.8.

SMOKE có thể tính toán các khí ô nhiễm chuẩn như: carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC), tổng khí hữu cơ (TOG), ammonia (NH₃), sulfur dioxide (SO₂), bụi có kích thước nhỏ hơn hoặc bằng 10 μm (PM₁₀) và nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 μm (PM_{2.5}). SMOKE cũng có thể tính toán rất nhiều độc tố như thủy ngân, cadimi, benzen, formaldehyde.

Mục đích của SMOKE là chuyển đổi độ phân bố theo quy luật nào đó hoặc ngẫu nhiên của số liệu kiểm kê phát thải về độ phân dải của mô hình chất lượng không khí. Kiểm kê phát thải thường cho giá trị trung bình năm hoặc trung bình ngày cho mỗi nguồn thải. Mặt khác, mô hình chất lượng không khí thường đòi hỏi phát thải theo giờ trên mỗi ô lưới (và có khi theo từng lớp) cho

mỗi chất thải. Do vậy, quá trình xử lý phát thải bắt buộc phải chuyển số liệu phát thải theo các cấp phát thời gian, không gian, phân nhóm hóa học và có thể cả phân chia theo lớp [*SMOKE User's Manual*].

GEOS-Chem là mô hình 3-D toàn cầu của hóa học khí quyển được ứng dụng vào các vấn đề về thành phần khí quyển. GEOS-Chem cho phép mô phỏng thành phần khí quyển trên phạm vi địa phương hoặc toàn cầu, có thể được sử dụng như một mô hình vận chuyển hóa học và có thể được sử dụng như một mô-đun hóa học kết hợp với các mô hình thời tiết và khí hậu. GEOS-Chem được phát triển và sử dụng bởi nhiều nhóm nghiên cứu trên toàn thế giới ứng dụng cho các vấn đề về thành phần khí quyển.

Phiên bản off-line của GEOS-Chem cho phép mô phỏng ngay lập tức thành phần khí quyển cho bất kỳ giai đoạn nào từ năm 1979 đến nay bằng cách sử dụng kho lưu trữ dữ liệu toàn cầu (Goddard Earth Observing System - GEOS) của NASA. Phiên bản on-line sử dụng mô-đun độc lập tính toán hóa học, vi vật lý, sol khí, bức xạ, khí thải và lắng đọng. Trong phiên bản on-line, vận chuyển hóa học được thực hiện bởi một mô hình thời tiết hoặc khí hậu kết hợp với GEOS-Chem (<http://acmg.seas.harvard.edu/geos/>).

CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions) là một mô hình chất lượng không khí mã nguồn mở phục vụ đánh giá tổng hợp ô nhiễm môi trường không khí dạng khí và dạng hạt. CAMx được thiết kế để mô phỏng chất lượng không khí trên nhiều quy mô địa lý khác nhau, mô phỏng nhiều chất ô nhiễm trơ cũng như hoạt động hóa học.

UAM (Urban Airshed Model) là một mô hình mô phỏng số, ba chiều, kiểu lưới, quy mô đô thị. Mô hình kết hợp một cơ chế động học quang hóa ngưng tụ cho bầu khí quyển đô thị. UAM được thiết kế để tính toán nồng độ ôzôn (O_3) trong các điều kiện ngắn hạn, từng đợt kéo dài một hoặc hai ngày do phát thải các ôxít nito (NO_x) và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC). UAM thích hợp ứng dụng cho các khu vực đô thị đơn lẻ có các vấn đề nghiêm trọng

về tầng ôzôn trong điều kiện không có vận chuyển phát thải giữa các vùng ven đô.

MM5 (Mesoscale Model) là mô hình khu vực giới hạn, phi thủy tĩnh, tọa độ thích ứng địa hình dùng để mô phỏng hoặc dự đoán hoàn lưu khí quyển quy mô vừa. Hiện mô hình này đã ngưng hỗ trợ người dùng.

RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) là một mô hình quy mô khu vực với nhiều tham số được thiết kế cho các lưới tỷ lệ có độ phân giải trung bình. RAMS được sử dụng để mô phỏng và dự báo các hiện tượng khí tượng. Các thành phần chính của RAMS là: 1) mô hình khí quyển mô phỏng thực tế; 2) phần mềm phân tích số liệu khí tượng để chuẩn bị dữ liệu ban đầu cho mô hình khí; 3) Các phần mềm hậu xử lý phục vụ phân tích dữ liệu một cách trực quan [7].

Hệ thống mô hình chất lượng không khí đa qui mô CMAQ được xây dựng và thiết kế để kiểm soát các vấn đề ô nhiễm không khí đa liên kết. CMAQ là một hệ thống mô hình hóa vận chuyển và hóa học khí quyển mô phỏng ozone, vật chất hạt (Particulate Matter - PM), các chất ô nhiễm trong không khí độc hại và các loài ô nhiễm axit trên tầng đối lưu. Được thiết kế như một mô hình trên nền khí quyển, CMAQ có thể giải quyết các khớp nối phức tạp giữa một số vấn đề về chất lượng không khí đồng thời trên các quy mô không gian từ đô thị đến bán cầu.

Với điều kiện thời tiết đóng góp các tác động vật lý chính trong khí quyển (như thay đổi nhiệt độ, gió, hình thành đám mây và tốc độ mưa), khí tượng tạo thành nền tảng của tất cả các mô hình mô phỏng chất lượng không khí. Mô hình WRF tương thích với CMAQ, trong đó cả hai hệ thống có thể được cấu hình để sử dụng các cấu trúc lưới, tọa độ ngang, dọc giống hệt nhau và thường được sử dụng làm đầu vào cho CMAQ [91].

Gần đây WRF-Chem được phát triển bởi cộng đồng các nhà khoa học của NOAA/ESRL (Earth System Research Laboratories). WRF-Chem là mô

hình kết hợp giữa WRF với hóa học, mô phỏng sự phát thải, vận chuyển, trộn lẫn và biến đổi hóa học của các khí và sol khí đồng thời với khí tượng. WRF-Chem được sử dụng để điều tra chất lượng không khí quy mô khu vực (Nguồn: <https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/>).

1.1.2. Phân tích, đánh giá

Qua phân tích tổng quan trên đây, có thể thấy hiện nay có nhiều phương pháp quan trắc, giám sát ô nhiễm không khí khác nhau đang được ứng dụng. Tuy nhiên, mỗi phương pháp có một số ưu điểm và nhược điểm khác nhau. Có thể đánh giá tóm tắt vai trò cũng như ưu, nhược điểm của các phương pháp trên như sau:

a. Đối với phương pháp sử dụng thiết bị đặt tại trạm quan trắc mặt đất

Có thể nói, đây là phương pháp quan trắc có độ chính xác tốt nhất hiện nay và vẫn là phương pháp quan trắc đã được chuẩn hóa bởi các cơ quan quản lý nhà nước để sử dụng quan trắc chất lượng môi trường xung quanh. Với sự phát triển của công nghệ thông tin, phương pháp này hiện nay đang được xây dựng và phát triển thành hệ thống giám sát chất lượng không khí tự động liên tục, thường xuyên cung cấp số liệu chất lượng không khí với nhiều thành phần khác nhau với độ phân giải thời gian hàng giờ. Các trạm quan trắc mặt đất có thể được bố trí dọc quốc lộ, trong khu dân cư, khu công nghiệp, vị trí chưa bị hoặc ít bị ảnh hưởng bởi ô nhiễm (quan trắc nền).

Hệ thống các trạm quan trắc hiện nay dựa trên công nghệ đo hiện đại cho độ chính xác cao. Tuy nhiên, đây lại là hệ thống đắt tiền và thiết bị hầu hết nhập khẩu mà chưa tự sản xuất trong nước, nên với điều kiện của Việt Nam hiện nay rất khó khăn trong việc lắp đặt đại trà, với mật độ cao trên phạm vi cả nước. Mặt khác, với các trạm quan trắc hiện nay mới chỉ cung cấp số liệu về chất lượng không khí dạng điểm, chưa thể đại diện cho một khu vực rộng lớn tại cùng thời điểm. Mặt khác, với các hệ thống trạm quan trắc hiện nay mới chỉ cung cấp được số liệu chất lượng không khí ở một độ cao nhất định, thông

thường dưới 20m; một số trạm đặt trên các tòa nhà cao tầng có thể có độ cao cao hơn, nhưng vẫn chưa đại diện hết được chất lượng không khí trong bầu không khí.

b. Đối với phương pháp sử dụng thiết bị đặt trên vệ tinh (viễn thám)

Công nghệ viễn thám hiện nay đang có những bước phát triển nhanh chóng và ngày càng được ứng dụng có hiệu quả trong lĩnh vực quan trắc môi trường. Thông tin thu thập từ vệ tinh quan trắc trái đất ngày càng có độ chính xác cao, với tần suất ngày càng cải thiện. Ưu điểm của phương pháp sử dụng thiết bị đặt trên vệ tinh là khả năng cung cấp thông tin về chất lượng không khí trên diện rộng, từ quy mô địa phương đến quy mô quốc gia, thậm chí là quy mô toàn cầu; đặc biệt là giá thành đối với phương pháp này là khá thấp, có khả năng triển khai trong thực tế.

Tuy nhiên, phương pháp viễn thám cũng có một số nhược điểm, đó là:

- Không đo đạc trực tiếp được thành phần gây ô nhiễm không khí, mà phải thông qua phân tích gián tiếp bằng các phép đo vật lý quang phổ;
- Tần suất cung cấp số liệu cũng bị hạn chế;
- Số liệu viễn thám cũng không có khả năng cung cấp số liệu về chất lượng không khí trên các độ cao cụ thể của lớp khí quyển mà phải thông qua tính toán để xác định.

Mặc dù vậy, chúng ta có thể sử dụng các sản phẩm có cùng tính chất của nhiều cảm biến trên các vệ tinh khác nhau để gia tăng tần suất cung cấp số liệu. Các cảm biến có sử dụng nhiều bước sóng hơn sẽ có khả năng cung cấp nhiều số liệu hơn.

Việc phải phân tích, tính toán các thành phần gây ô nhiễm không khí thông qua các phép đo vật lý quang phổ làm chi phí thêm thời gian, không gây ảnh hưởng nhiều đến khả năng ứng dụng của chúng. Đối với tính chất tổng cột của sản phẩm viễn thám, thông qua các bài toán để tính toán cụ thể cho từng lớp độ cao trong khí quyển, điều này phù hợp với các lớp độ cao khí quyển

được quy định bởi người mô phỏng trong module đồng hóa của hệ thống mô hình WRF.

c. Đối với phương pháp mô hình hóa

Đối với phương pháp mô hình hóa có ưu điểm rất lớn trong việc mô hình hóa sự lan truyền và phát tán các thành phần chất lượng không khí và có khả năng dự báo được tình trạng ô nhiễm không khí với tần suất hàng giờ với nhiều lớp độ cao cột không khí khác nhau.

Tuy nhiên, như trên đã trình bày, bản chất của phương pháp mô hình hóa là sử dụng các hàm toán học để mô phỏng sự tương tác, lan truyền các chất trong không khí, để có thể mô phỏng, các mô hình phải sử dụng nguồn số liệu đầu vào, về cơ bản gồm: các số liệu khí tượng; số liệu quan trắc về chất lượng không khí.

Như vậy, về bản chất, phương pháp mô hình vẫn phải dựa trên nền tảng số liệu đầu vào của các trạm quan trắc mặt đất và/hoặc của phương pháp viễn thám.

d. Đánh giá chung

Qua phân tích trên đây có thể thấy, để giám sát thường xuyên tình trạng ô nhiễm không khí trên diện rộng với tần suất thời gian tốt (hàng giờ) và độ chính xác cao gần như không có phương pháp độc lập nào có thể đáp ứng được trong điều kiện hiện nay ở Việt Nam. Do đó phương pháp khả thi nhất là kết hợp cả 02 phương pháp trên, trong đó số liệu của phương pháp xác định bằng thiết bị quan trắc đóng vai trò là nguồn số liệu đầu vào cho mô hình mô phỏng chất lượng không khí; đồng thời số liệu quan trắc mặt đất cũng là nguồn số liệu để kiểm định và hiệu chỉnh mô hình.

Tuy nhiên, có một số vấn đề đặt ra trong việc kết hợp số liệu từ các trạm quan trắc mặt đất và số liệu từ vệ tinh là sự khác biệt giữa hai nguồn số liệu này, đó là:

- Khác nhau về không gian: Số liệu chất lượng không khí từ viễn thám và từ trạm quan trắc mặt đất có sự khác biệt tương đối rõ rệt. Sự khác biệt này thể hiện ở 02 góc độ:

+ Sự khác biệt về không gian phẳng: điều này thể hiện ở việc số liệu chất lượng không khí từ các trạm quan trắc mặt đất thể hiện theo điểm; trong khi số liệu viễn thám thể hiện được ở dạng vùng và điểm. Ngoài ra, số liệu từ các vệ tinh khác nhau cũng có độ phân giải không gian khác nhau;

+ Sự khác nhau về độ cao quan trắc: đối với số liệu chất lượng không khí từ các trạm quan trắc mặt đất, độ cao quan trắc thông thường khoảng 20m, một số trạm đặt trên các tòa nhà cao tầng có thể có độ cao cao hơn; trong khi số liệu chất lượng không khí chiết xuất từ vệ tinh dao động từ mặt đất đến độ cao lớp trên của khí quyển tùy từng loại vệ tinh.

- Khác nhau về tần suất (thời gian cung cấp số liệu): Đối với số liệu chất lượng không khí từ các trạm quan trắc mặt đất hiện nay có khả năng cung cấp hàng giờ, liên tục 24/24h; trong khi số liệu viễn thám thường có tần suất cung cấp số liệu thấp hơn và không thể cung cấp 24/24h.

- Khác nhau về độ chính xác: Độ chính xác của số liệu chất lượng không khí từ hệ thống trạm quan trắc mặt đất hiện nay đang cho kết quả chính xác cao nhất. Đối với phương pháp viễn thám, độ chính xác thấp hơn do độ phân giải không gian của số liệu viễn thám chuyên về chất lượng không khí thường ở mức trung bình.

Như vậy có thể thấy, để sử dụng được phương pháp mô hình hóa một cách hiệu quả, thì bài toán đặt ra là phải có phương pháp giải quyết được những khác biệt cơ bản trên của các nguồn số liệu đầu vào để có được một bộ số liệu đầu vào đồng nhất cả về mặt không gian (2 chiều: chiều ngang và chiều đứng) và về mặt thời gian. Một trong các giải pháp đó là đồng hóa số liệu, nhằm tích hợp, tổng hợp cả số liệu vệ tinh, số liệu quan trắc mặt đất để xây dựng được bộ số liệu chất lượng không khí, số liệu khí tượng đáp ứng yêu cầu của mô hình

mô phỏng chất lượng không khí đảm bảo cả về không gian và tần suất tối ưu nhất.

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

1.2.1. Khái niệm

Năm 2003 trường đại học Cambridge đã xuất bản cuốn sách của Eugenia Kalnay “Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability”, cuốn sách đã đưa ra khái niệm về đồng hóa số liệu như sau: Đồng hóa số liệu là kết hợp một cách tốt nhất các nguồn thông tin, số liệu khác nhau, số liệu quan trắc, số 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 [48].

Đồng hóa số liệu về bản chất là một quá trình trong đó số liệu quan trắc và một trường phỏng đoán nền được kết hợp với nhau một cách thống kê để thu được điều kiện ban đầu tối ưu cho mô hình (thuật ngữ “mô hình” là một phương trình dùng để giải một bài toán phương trình đạo hàm riêng một cách xấp xỉ với điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho trước) (Geir Evensen, 2009) [34].

Đồng hóa số liệu vệ tinh trong mô hình chất lượng không khí đa qui mô CMAQ là kết hợp số liệu vệ tinh vào mô hình CMAQ được sử dụng trong tính toán, dự báo chất lượng không khí, nhằm mục đích nâng cao chất lượng dự báo phục vụ giám sát ô nhiễm không khí.

Đặc trưng thống kê của bài toán đồng hóa số liệu chính là cốt lõi của các thuật toán đồng hóa hiện tại. Nếu mô hình và các số liệu quan trắc là hoàn hảo, bài toán đồng hóa số liệu khi đó sẽ đơn thuần chỉ là một bài toán nội suy (hay ngoại suy) tối ưu nhiều chiều. Nếu quan trắc là tuyệt đối nhưng mô hình ẩn chứa các sai số nội tại, bài toán đồng hóa sẽ không còn là một bài toán nội suy tối ưu đơn thuần vì khi đó điều kiện ban đầu chính xác sẽ không còn luôn được trông đợi do các số liệu quan trắc có thể tiềm ẩn các thành phần không cân bằng mà mô hình không cho phép tích phân. Nếu cả mô hình và quan trắc là không

hoàn hảo thì rõ ràng sự bất định này phải được tính đến trong mô hình một cách thích hợp.

Trong khí tượng, bài toán đồng hóa số liệu là quá trình mà qua đó tất cả các thông tin có sẵn được sử dụng để ước tính một cách chính xác nhất có thể trạng thái khí quyển tại một thời điểm ban đầu cho trước. Vấn đề xác định điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo số này là một bài toán quan trọng trong bất kì hệ thống dự báo bằng mô hình số nào, do đặc tính phụ thuộc mạnh vào điều kiện ban đầu của của các mô hình dự báo thời tiết số (Eugenia Kalnay và cộng sự, 2003) [48].

Các thông tin có sẵn về cơ bản bao gồm các quan trắc thích hợp và phù hợp với tính chất vật lý chi phối sự phát triển của khí quyển, chúng có giá trị thực tế dưới hình thức của một mô hình số. Do bản chất phi tuyến của các phương trình mô tả khí quyển nên những sai số nhỏ không thể đo được trong trạng thái ban đầu sẽ phát triển rất nhanh sau một khoảng thời gian và kết quả dự báo sẽ không còn tin cậy cho dù mô hình dự báo là hoàn hảo. 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 (Jean Pailleux, 1989) [67].

Đồng hóa số liệu được sử dụng trong mô hình hóa học khí quyển để cải thiện dự báo chất lượng không khí, xây dựng lại các phân tích hóa học ba chiều (bao gồm aerosol) nồng độ và thực hiện mô hình nghịch đảo của các biến đầu vào hoặc các thông số mô hình. Đồng hóa số liệu liên quan đến sự kết hợp của mô hình với số liệu quan trắc để đưa ra một đại diện có thể xảy ra nhất của các trạng thái của các biến được xem xét. Đối với các ứng dụng trong khí quyển, mục tiêu của đồng hóa số liệu là để có được một tệp dữ liệu tốt hơn của bầu khí quyển về biến hóa khí tượng và khí quyển, hạt vật chất được bao gồm ở đây như là một phần của hóa học khí quyển.

1.2.2. Tổng quan các phương pháp đồng hóa

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 (Lorenc, 1986) [57], (Daley, 1991; Kalnay, 2003) [48], (Evensen, 2009) [34]. Nghiên cứu này mô tả ngắn gọn các kỹ thuật phổ biến nhất được sử dụng và nhận xét về sự khác biệt của chúng.

Theo như phân tích, các phương pháp đồng hóa số liệu phổ biến nhất hầu như không có sự khác biệt. Chúng chủ yếu được dựa trên các giả thiết thống kê Gaussian trên tất cả các sai số và phân tích dựa trên ước lượng tuyến tính tốt nhất (Best Linear Unbiased Estimate - BLUE). Tại một thời điểm nhất định, BLUE đã tìm ra cách kết hợp tối ưu giữa các số liệu quan trắc và một ước tính nền của hệ thống trạng thái, thường do một dự báo trước đó. Như vậy, BLUE phân tích có thể được thực hiện bằng cách giải quyết cho các ma trận (để cân bằng các số liệu quan trắc và số liệu nền) sử dụng đại số tuyến tính, một phương pháp gọi là nội suy thống kê tối ưu (Optimal Interpolation - OI) (Fedorov, 1989) [67], hoặc có thể thu được thông qua một phân tích không gian biến phân ba chiều (3-D), thường được gọi là 3DVAR.

Khi thời gian là yếu tố chủ yếu, các phương pháp này cần phải được tổng quát. Trong đó, các sai số (hay thống kê) kèm theo sự đánh giá tốt nhất phải được làm lan truyền trong thời gian, dẫn đến những khó khăn đáng kể trong cả hai phương pháp nội suy và biến phân thống kê. Cách tiếp cận OI có thể được khái quát đến là phương pháp lọc Kalman (Ghil và Malanotte-Rizzoli, 1991) [38], khi đó phương pháp 3DVAR được tổng quát trở thành 4DVAR (Le Dimet và Talagrand, 1986) [30], (Rabier, 2000) [37]. Bộ lọc Kalman và 3DVAR/4DVAR có thể được kết hợp để giải quyết những thiếu sót của cả hai phương pháp: phân kỳ của các bộ lọc và hiệp biến tĩnh trong phương pháp biến phân (Lorenc, 2003) [58], (Mariusz Pagowski và cộng sự, 2010) [66].

Hiện nay hướng phát triển chính của mô hình dự báo chất lượng không khí là cải tiến cấu hình của mô hình và tăng cường các biểu diễn vật lý, hóa học của mô hình cho sát với thực tế hơn. Bên cạnh sự tiến bộ trong việc cải tiến phương pháp và các tham số hóa vật lý, sự tiến bộ của công nghệ máy tính đã giúp tăng đáng kể độ phân giải của các mô hình ở cả quy mô toàn cầu và quy mô khu vực. Tuy nhiên, các nghiên cứu về tính dự báo của mô hình đó chỉ ra rằng, những cải tiến này cuối cùng sẽ tới một giới hạn không thể vượt qua do sự phụ thuộc rất lớn của kết quả dự báo vào điều kiện ban đầu. Nói cách khác, sự bất định xuất hiện ở trong các bản tin dự báo là kết quả của những mô hình có độ phân giải thô, mặc dù được tính toán chính xác hơn nhưng lại không mô tả đúng thực tế. Vì vậy cần những phương pháp tốt hơn để giải quyết vấn đề không chỉ đơn thuần là cải tiến sức mạnh của các mô hình số [91].

Những năm 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. Với phương pháp này, tổ hợp kết quả của nhiều thành phần tham gia dự báo sẽ cải thiện được chất lượng dự báo dựa trên số liệu đầu vào được cập nhật liên tục theo thời gian. Thực nghiệm cho thấy rằng phương pháp này đạt kết quả cao hơn rất nhiều so với phương pháp dự báo thông thường.

Sự thay thế của dự báo đơn lẻ bằng dự báo tổ hợp dựa trên sự thừa nhận rằng khí quyển có bản chất hỗn loạn. Lorenz (1963) [59] chỉ ra rằng, chỉ một nhiễu động rất nhỏ (ví dụ nhiễu động được sinh ra bởi sự vỗ cánh của con bướm - hiệu ứng cánh bướm) khi được đưa vào khí quyển tại một thời điểm sẽ dẫn đến sự thay đổi rất lớn của khí quyển theo thời gian. Nghiên cứu của Lorenz dẫn đến một hệ thống lý thuyết động lực mới, theo đó, mô phỏng các hệ thống nhất định như khí quyển (bao gồm các mô hình số) mang tính bất định: những nhiễu động ngẫu nhiên trong trường ban đầu dù rất nhỏ sẽ dẫn đến sự sai khác rất lớn theo thời gian. Mặt khác, không thể đo đạc chính xác trạng thái thực của

khí quyển. Các giá trị của trường phân tích (được tổng hợp từ số liệu quan trắc và mô hình) luôn chứa những sai số mà ở đó, độ lớn của sai số có thể được ước lượng một cách gần đúng. Những sai số này bao gồm sai số của thiết bị đo, sự không đầy đủ của các trạm quan trắc và phép lấy gần đúng trong kỹ thuật tính toán của mô hình. Ngay cả với một mô hình khí quyển hoàn hảo, độ chính xác của kết quả dự báo sẽ giảm nhanh chóng.

Nghiên cứu về đồng hóa số liệu được bắt đầu từ những năm 50 của thế kỷ trước, phương pháp đồng hóa số liệu đầu tiên được gọi là “phân tích khách quan” sử dụng phép nội suy đơn giản. Trong khí tượng, bài toán đồng hóa số liệu là quá trình mà qua đó tất cả các thông tin có sẵn được sử dụng để ước tính một cách chính xác nhất có thể trạng thái khí quyển tại một thời điểm ban đầu cho trước. Vấn đề xác định điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo số này là một bài toán quan trọng trong bất kì hệ thống dự báo bằng mô hình số nào, do đặc tính phụ thuộc mạnh vào điều kiện ban đầu của của các mô hình dự báo số [30].

Phương pháp đồng hóa số liệu đã trở thành một phương pháp quan trọng trong ngành dự báo, đồng hóa số liệu có thể chia thành nhiều nhóm khác nhau: tuần tự, không tuần tự, liên tục, biến phân. Theo quan điểm hiện đại, các phương pháp đồng hóa số liệu có thể được tạm chia thành hai loại:

- Một là phương pháp đồng hóa biến phân (ĐHBP) (Jean Pailleux, 1989) [67], trong đó trạng thái phân tích được tìm bằng cách xác định trạng thái của khí quyển có khả năng xảy ra cao nhất ứng với một tập quan trắc và một trạng thái nền cho trước. Bài toán ĐHBP có thể chia thành bài toán 3 chiều (3DVAR) hay 4 chiều (4DVAR). Cách tiếp cận chung của bài toán này là tìm một trường phân tích nào đó có khả năng xảy ra cao nhất bằng cách tối thiểu hóa một hàm chi phí (cost function).

Phương pháp đồng hóa biến phân này có ưu điểm là hàm giá trị được cực tiểu hóa trên toàn miền và do đó kết quả trường phân tích sẽ loại bỏ được những

tình huống dị thường - mà trong đó trạng thái phân tích chỉ nhận giá trị xung quanh điểm quan trắc. Mặc dù vậy, đồng hóa biến phân có một số nhược điểm lớn không thể bỏ qua. Nhược điểm thứ nhất đó là không cho phép tính đến sự biến đổi của ma trận sai số hiệp biến trạng thái nền theo thời gian. Đây là một điểm yếu lớn vì trong thực tế sai số nền biến thiên mạnh theo thời gian. Nhược điểm thứ hai là việc hội tụ của phép lặp khi tìm trạng thái phân tích phụ thuộc nhiều vào sự tồn tại của các cực trị cục bộ. Thêm vào đó, việc nghịch đảo ma trận sai số nền trong thực tế là không thể.

Do đó, rất nhiều các giả thiết đơn giản hóa cho ma trận này phải được đưa vào để loại bỏ các tương quan chéo không cần thiết giữa các biến (Hendrik Elbern và Hauke Schmidt, 2001) [33].

- Phương pháp đồng hóa thứ hai là phương pháp đồng hóa dãy (ĐHD). Khác với đồng hóa biến phân, phương pháp đồng hóa dãy xác định trạng thái phân tích theo cách làm tối thiểu hóa sai số của trạng thái phân tích so với quan trắc và trạng thái nền. Tiêu biểu cho phương pháp này là các bài toán nội suy tối ưu và phương pháp lọc Kalman cùng với các biến thể.

Điểm khác biệt cơ bản nhất giữa đồng hóa biến phân và đồng hóa dãy là ma trận sai số hiệp biến của trạng thái nền trong đồng hóa dãy được tích phân theo thời gian thay vì giữ không đổi như trong cách tiếp cận đồng hóa biến phân. Có hai quá trình đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn trong các phương pháp đồng hóa dãy là các tính toán nghịch đảo ma trận và tính toán mô hình tiếp tuyến. Các tính toán này là quá lớn ngay cả với một mô hình đơn giản, và hầu như không thể tính toán được trong các bài toán thực tế.

Để khắc phục nhược điểm này của lọc Kalman, một biến thể khác của lọc Kalman dựa trên dự báo Monte - Carlo có tính toán khả thi hơn đã được phát triển là bộ lọc Kalman tổ hợp (EnKF). Tuy nhiên, cách tiếp cận này cũng có một vài nhược điểm liên quan đến tính cục bộ hóa của số liệu quan trắc xung quanh các điểm nút quan trắc và sự phụ thuộc của ma trận sai số vào số lượng

thành phần tổ hợp, ưu điểm nổi trội của lọc Kalman tổ hợp đó là không đòi hỏi phát triển các mô hình tiếp tuyến như trong phương pháp ĐHBP.

Thêm vào đó, lọc Kalman tổ hợp cho phép tạo ra các trường nhiễu ban đầu biến đổi theo thời gian. Vì vậy phương pháp EnKF đang được coi là một cách tiếp cận tiềm năng nhất cho dự báo tổ hợp trong tương lai (Ashish Routray và cộng sự, 2008) [74]; (Kiều Quốc Chánh, 2011) [3].

1.2.2.1. Nghiên cứu phương pháp đồng hóa số liệu trên Thế giới

Trên thế giới đã có nhiều tác giả nghiên cứu về bài toán đồng hóa số liệu cho mô hình số và đạt được những kết quả khả quan trong dự báo thời tiết, cũng như trong dự báo các hiện tượng cực đoan như mưa lớn, bão.

a) Nghiên cứu theo phương pháp đồng hóa biến phân

Tác giả Xavier (2006) [85] đã sử dụng phương pháp đồng hóa biến phân ba chiều để đồng hóa profile nhiệt độ và độ ẩm từ vệ tinh MODIS cùng với số liệu thám không vô tuyến để cải thiện trường ban đầu của mô hình MM5. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc sử dụng số liệu vệ tinh MODIS đã cải thiện đáng kể diễn biến mưa lớn kết hợp với áp thấp nhiệt đới.

Sau đó tác giả Routray (2008) [74] đã đồng hóa các số liệu quan trắc bề mặt, tàu thủy, phao, bóng cao không và vệ tinh địa tĩnh Kapanal-1 để dự báo mưa lớn ở Ấn Độ bằng việc sử dụng hệ thống đồng hóa số liệu 3DVAR kết hợp mô hình WRF. Kết quả tính toán cho thấy, việc đồng hóa số liệu đã cải thiện đáng kể chất lượng mô phỏng mưa lớn trong mùa mưa ở Ấn Độ.

Rakesh (2009) [71] đã sử dụng sơ đồ 3DVAR để đồng hóa số liệu tốc độ gió và hướng gió gần bề mặt biển từ vệ tinh Quick Scatterometer (QSCAT), tốc độ gió và tổng lượng nước có thể kết tủa (total precipitable water - TPW) từ vệ tinh SSM/I cho cả hai mô hình MM5 và WRF để dự báo thời tiết hạn ngắn ở Ấn Độ. Kết quả nghiên cứu cho thấy dự báo trường gió từ hai mô hình này được cải thiện đáng kể trong trường hợp đồng hóa số liệu gió từ QSCAT và SSM/I, trong khi trường nhiệt độ và độ ẩm cho hiệu quả kém hơn. Trường dự

báo mưa tốt nhất trong trường hợp đồng hóa số liệu TPW. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng sai số dự báo các trường gió, nhiệt độ và độ ẩm ở các mực khác nhau bằng mô hình WRF nhỏ hơn khi dự báo bằng mô hình MM5.

b) Nghiên cứu theo phương pháp đồng hóa dãy

Phương pháp này được phát triển mạnh mẽ hơn một thập kỉ qua tại Trường Đại học Marry Land, các nghiên cứu này chủ yếu đi theo hướng đồng hóa lọc Kalman tổ hợp và một biến thể, gọi là lọc Kalman tổ hợp cục bộ.

Năm 2003, Kalnay đã phát hành cuốn sách “Atmospheric modelling, data assimilation and predictability”, nội dung của cuốn sách trình bày toàn bộ lý thuyết về phương pháp và sự phân loại phương pháp đồng hóa số liệu [48]. Trong cuốn sách tác giả cũng trình bày rất rõ cơ sở lý thuyết của lọc Kalman và khẳng định một tổ hợp 25-50 các thành phần là đủ để phát huy tác dụng của lọc Kalman.

Những năm sau đó Kalnay và các cộng sự của mình tiếp tục đi sâu vào việc nghiên cứu phương pháp lọc Kalman tổ hợp và ứng dụng những ưu điểm của phương pháp này vào dự báo nghiệp vụ. Gần đây Szunyogh và các cộng sự (2008) [81] đã thiết kế phương pháp lọc Kalman tổ hợp cục bộ cho mô hình toàn cầu (National Centers for Environmental Prediction - NCEP). Trong nghiên cứu này các tác giả thực hiện việc tính toán bằng hệ thống song song tích hợp giữa lọc LETKF với hệ thống dự báo toàn cầu 2004.

Tất cả các quan trắc khí quyển được đồng hóa bởi NCEP 2004, ngoại trừ bức xạ vệ tinh được đồng hóa bởi LETKF. Tính chính xác của các phân tích trong LETKF được đánh giá với nội suy thống kê quang phổ (Spectral Statistical Interpolation - SSI - là sơ đồ đồng hóa số liệu toàn cầu của NCEP năm 2004). Các bộ quan trắc được lựa chọn trong phân tích LETKF chính xác hơn trong SSI vùng ngoại nhiệt đới Nam bán cầu và tương đối chính xác trong ngoại nhiệt đới và nhiệt đới ở Bắc bán cầu.

1.2.2.2. Nghiên cứu phương pháp đồng hóa số liệu ở Việt Nam

Trong những năm gần đây bài toán đồng hóa số liệu ở nước ta đang được nghiên cứu nhằm cải thiện trường ban đầu tốt hơn. Một số tác giả nghiên cứu theo hướng đồng hóa biến phân.

Kiều Thị Xin và Lê Đức (2003) [18] đã nghiên cứu áp dụng mô hình đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình HRM (High Resolution Regional Model). Bằng cách sử dụng các số liệu tại các trạm cao không và SYNOP (surface synoptic observations), kết quả cho thấy lượng mưa dự báo gần với thực tế hơn so với trường hợp không sử dụng đồng hóa số liệu. Tác giả 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. Kết quả cho thấy tác động nhỏ của độ ẩm đất đến dự báo các trường khí tượng trên cao tại khu vực Việt Nam.

Trong nghiên cứu áp dụng hệ thống mô hình 3D MM5-CMAQ đánh giá ảnh hưởng của ô nhiễm không khí đến sức khỏe khu vực thành phố Hồ Chí Minh (2009), Lê Hoàng Nghiêm đã sử dụng số liệu khí tượng toàn cầu GFS và số liệu địa hình, số liệu sử dụng đất cho hệ thống mô hình MM5-CMAQ để biểu diễn phân bố nồng độ cho từng chất ô nhiễm tại thời điểm ô nhiễm vượt chuẩn cho khu vực TP. HCM. Kết quả của nghiên cứu cho thấy kết quả của mô hình có sự chênh lệch khi so sánh với kết quả quan trắc, tuy nhiên sự chênh lệch này là không nhiều và nằm trong phạm vi chấp nhận được. Kết quả mô hình và kết quả quan trắc có sự tương quan khá tốt ($R^2 = 0.7045$).

Tác giả Trần Tân Tiến và Nguyễn Thị Thanh (2011) [11] đã nghiên cứu đồng hóa số liệu vệ tinh MODIS trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ trong hai mùa mưa 2007 - 2008 và thu được kết quả khá khả quan.

Ngoài ra, một số tác giả cũng nghiên cứu theo hướng này: GS Phan Văn Tân và Nguyễn Lê Dũng (2009) [10] 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. Theo nghiên cứu này, mô hình WRF kết hợp với hệ thống đồng hóa số liệu ba chiều (gọi là hệ thống WRF-VAR), đã được ứng dụng dự báo thử nghiệm cho một số trường hợp bão hoạt động trên biển Đông có quỹ đạo tương đối phức tạp và có cường độ khác nhau. Tác giả sử dụng tập số liệu toàn cầu và số liệu địa hình cho việc chạy mô hình WRF, việc đồng hóa số liệu được thực hiện với nguồn số liệu quan trắc giả được tạo ra nhờ một module ban đầu hóa xoáy. Kết quả thu được đã mở ra một khả năng phát triển hệ thống WRF-VAR thành một phiên bản dự báo bão khi thêm một module tạo xoáy nhân tạo.

Ở Việt Nam, nghiên cứu theo phương pháp đồng hóa dấy vẫn còn là vấn đề mới mẻ, tác giả Kiều Quốc Chánh (2011) [3] đã tổng quan về hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp và ứng dụng cho mô hình dự báo thời tiết WRF (WRF-LETKF). Trong đó, tác giả có đề cập tới cơ sở lý thuyết bộ lọc Kalman, lọc Kalman tổ hợp và thiết kế phương pháp đồng hóa này với mô hình dự báo thời tiết WRF. Kết quả ban đầu thu được cho thấy bộ lọc Kalman tổ hợp có khả năng nắm bắt tốt số liệu quan trắc vệ tinh.

Năm 2012, Kiều Quốc Chánh và cộng sự [25] đã nghiên cứu việc ứng dụng số liệu vệ tinh đưa vào đồng hóa bằng hệ thống WRF-LETKF này, kết quả cho thấy chất lượng dự báo bão Megi (2010) hạn 3 ngày được cải thiện đáng kể. Ngoài ra, tác giả còn đưa ra nhận định về vai trò của các quan trắc ngoài rìa xa tâm bão có thể đóng góp đáng kể trong việc nâng cao kỹ năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Kiều Quốc Chánh và cộng sự (2013) [26] tiếp tục ứng dụng hệ thống WRF-LETKF để thí nghiệm cho cơn bão Côn Sơn (2010), trong nghiên cứu này tác giả đã đề xuất phương pháp đa vật lý để hiệu chỉnh sai số của mô hình, trong đó các thành phần tổ hợp là các thành phần đa vật lý với các lựa chọn sơ đồ vật lý khác nhau, kết quả cho thấy độ tán tổ hợp, sai số được cải thiện đáng kể. Những ưu điểm mà phương pháp lọc Kalman tổ hợp đem lại là nguồn động lực cho các nhà nghiên cứu phát triển và ứng dụng vào nghiệp vụ dự báo.

Nguyễn Kỳ Phùng và các cộng sự (2017) [6] cũng đã nghiên cứu xây dựng quy trình dự báo các trường khí tượng từ mô hình WRF để cung cấp số liệu cho mô hình CMAQ dự báo chất lượng không khí ở TP. Hồ Chí Minh. Trong nghiên cứu này, tác giả đã sử dụng số liệu đầu vào GFS 0.5° được lấy từ mô hình toàn cầu cho mô hình WRF và số liệu thực đo được lấy tại các trạm Tân Sơn Hòa, Sở Sao, Biên Hòa dùng để đánh giá và kiểm định. Kết quả nghiên cứu cho thấy sau khi hiệu chỉnh kết quả dự báo đã gần với thực đo, với tốc độ gió sai số tuyệt đối trung bình MAE = 0,25 m/s, với nhiệt độ sai số tuyệt đối trung bình MAE = 0,4°C.

Có một số đề tài đã nghiên cứu theo hướng này: “Nghiên cứu xây dựng hệ thống đồng hóa tổ hợp cho mô hình thời tiết và hệ thống tổ hợp cho một số mô hình khí hậu khu vực nhằm dự báo và dự tính các hiện tượng thời tiết, khí hậu cực đoan” (Đề tài ĐT.NCCB-ĐHUD.2011-G/10) do TS Ngô Đức Thành chủ trì; Đề tài cấp nhà nước do GS Trần Tân Tiến chủ nhiệm “Xây dựng qui trình công nghệ dự báo quĩ đạo và cường độ bão trên khu vực Tây bắc Thái Bình Dương và biển Đông hạn 5 ngày” (KC.08.01/11-15).

Các đề tài này có một đặc điểm chung đó là ứng dụng ưu điểm của lọc Kalman tổ hợp kết hợp với mô hình dự báo thời tiết WRF nhằm cải thiện chất lượng dự báo cường độ và quĩ đạo bão trên khu vực Tây bắc Thái Bình Dương và biển Đông. Đối với dự báo quĩ đạo sau 3 ngày sai số dự báo xuống còn dưới 350 km. Mở ra một hướng nghiên cứu mới trong việc dự báo quĩ đạo và cường độ bão tương lai gần.

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

Trong quá trình đồng hóa số liệu, người ta chuẩn bị số liệu trạng thái nền là ước tính tốt nhất có thể của trạng thái ban đầu cho một hệ thống được xem xét bằng cách hợp nhất các phép đo khác nhau được phân bố không đều trong không gian và thời gian. Bởi vì có thể cải thiện chất lượng dự báo của mô hình,

đồng hóa số liệu hiện nay đóng một vai trò rất quan trọng trong các nghiên cứu liên quan đến khí quyển, khí tượng, chất lượng không khí.

Sự phong phú ngày càng tăng của số liệu vệ tinh thông qua việc truy xuất các dấu hiệu thành phần không khí trong khí quyển làm cho việc đồng hóa số 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.

Các nội dung đồng hóa số liệu liên quan đến Luận án có thể chia thành một số nhóm như sau.

1.3.1. Đồng hóa số liệu khí tượng học

Đồng hóa số liệu đóng vai trò ngày càng quan trọng hơn trong dự báo thời tiết và được coi là một giải pháp hiện đại của khoa học khí quyển và đại dương.

Kursinski và cộng sự (1997) [54], Rocken và cộng sự (1997) [75] đã đồng hóa số liệu của hệ thống định vị toàn cầu (Global Positioning System - GPS) và số liệu khí tượng học nhằm tăng khả năng cải thiện kỹ năng dự báo thời tiết. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, với sự ra đời của GPS bằng cách sử dụng các máy phát hiệu suất cao trong các quỹ đạo cao và các vệ tinh quay quanh trái đất thấp được trang bị máy thu GPS có thể phát sóng vô tuyến từ bầu khí quyển. Một minh chứng nguyên mẫu về khả năng này đã được cung cấp trong chương trình Hệ thống định vị toàn cầu/Khí tượng (Global Positioning System/Meteorology GPS/MET) của NASA.

Trên thực tế, cấu hình độ phân giải cao của khúc xạ khí quyển, nhiệt độ và độ cao địa lý ở các mức áp suất không đổi có thể được lấy từ các phép đo GPS kết hợp trực tiếp vào các hệ thống dự báo và/hoặc dự báo thời tiết số để cải thiện kết quả dự báo (Zou và cộng sự, 1999) [86]. Phương pháp này bao gồm một toán tử quan trắc theo dõi tia chuyển đổi các biến trạng thái khí quyển thành các phép đo khúc xạ GPS và các đường cong tiếp tuyến. Ba toán tử này

được yêu cầu cho việc sử dụng trực tiếp các phép đo góc khúc xạ GPS trong một hệ thống phân tích số liệu đa dạng.

Gần đây, số liệu GPS/MET được sử dụng trong hệ thống Nội suy thống kê trực quan (SSI) tại NCEP ở Hoa Kỳ bằng cách sử dụng toán tử dò tia GPS và toán tử cải chính GPS (Zou và cộng sự, 2000) [87]. Hệ thống đồng hóa số liệu GPS này được kiểm tra bằng cách kết hợp 30 trạm quan trắc GPS/MET về góc khúc xạ thu được trong thí nghiệm GPS/MET. Kết quả từ tất cả các thí nghiệm cho thấy rằng sự đồng hóa liên tục của nhiều (hàng trăm đến hàng nghìn) trạm quan trắc góc khúc xạ GPS/MET trên toàn cầu sẽ có tác động tích cực lên kết quả phân tích và dự báo toàn cầu.

Một ứng dụng khác của đồng hóa số liệu trong khí tượng là dự báo bão (Phan Văn Tân, Nguyễn Lê Dũng, 2009) [10], (Zhiquan Liu và cộng sự, 2011) [56]. Trên thực tế, dự đoán chính xác, theo dõi bão và thay đổi cường độ một cách chính xác vẫn là một vấn đề đầy thách thức do thiếu các trường số liệu cần thiết. Một trong những khó khăn chính trong dự báo số lượng của cơn bão là khởi tạo bão. Các xoáy ban đầu được hỗ trợ bởi phân tích quy mô lớn từ các trung tâm hoạt động thường được xác định quá yếu và đôi khi bị đặt sai chỗ.

Đây có thể là một trong những lý do chính gây ra lỗi vị trí trung bình lớn cho dự báo theo dõi cơn bão chính thức của NCEP đối với những cơn bão lớn trên Đại Tây Dương, khoảng 160 km trong 24 giờ và 250 km trong 48 giờ. Do đó, cần phải tìm một quy trình khởi tạo để gia tăng độ chính xác của sự hình thành cơn lốc ban đầu thực tế hơn.

Một phương pháp khởi tạo thông thường là xây một xoáy không có thật, một xoáy được chỉ định dựa trên kích thước của cơn bão, vị trí và cường độ, vào trạng thái ban đầu của mô hình. Nhiều dự đoán thành công về chuyển động và cấu trúc của cơn bão đã được tạo ra bằng cách sử dụng sơ đồ như vậy. Tuy nhiên, các thủ tục chi tiết của các phương pháp không có thật thay đổi từ dạng này sang dạng khác.

Thông thường, phương trình cân bằng phi tuyến, quan hệ gió dốc, quan hệ địa tĩnh, quan hệ thủy tĩnh được sử dụng để lấy một biến từ một biến khác trong các sơ đồ không có thật này. Làm thế nào để tạo ra tất cả các trường mô hình của dòng xoáy ban đầu khác quan hơn với tính nhất quán động và vật lý vẫn là một vấn đề chưa được giải quyết. Để giải quyết các khó khăn này, một số nghiên cứu phát triển mô hình đồng hóa không có thật (bogus data assimilation) để tạo ra cấu trúc ban đầu của một cơn bão nhiệt đới để dự đoán bão. Kết quả cho thấy dự đoán bão đã được cải thiện rất nhiều.

Đối với lĩnh vực khí tượng, đại dương có ảnh hưởng lớn đến hệ thống khí tượng, khí hậu. Trong số nhiều khía cạnh của vai trò Đại dương trong hệ thống khí hậu, ảnh hưởng của nhiệt độ mặt nước biển là điều cần thiết nhất, và cần phải ước tính chính xác lớp hỗn hợp đại dương. Theo truyền thống, có hai cách xác định lớp hỗn hợp đại dương: đo đạc trực tiếp và sử dụng mô hình dự báo.

Càng ngày, người ta càng nhận ra rằng một cách khác được gọi là đồng hóa số liệu đại dương có thể cung cấp rõ hơn về lớp hỗn hợp đại dương. Tuy nhiên, các số liệu quan trắc về lớp hỗn hợp đại dương thường là hình ảnh nhiệt độ mặt nước biển từ không gian; nhưng chủ yếu là ở lớp nước trên bề mặt trong khi lớp hỗn hợp đại dương là một khu vực hỗn hợp dày 50, 100 m ngay dưới mặt nước biển, nơi nhiệt độ và độ mặn thường đồng đều. Để giải quyết vấn đề, một số phương pháp thứ tự giảm có thể được sử dụng để đồng hóa số liệu lớp hỗn hợp đại dương.

1.3.2. Đồng hóa số liệu trong hóa học khí quyển

1.3.2.1. Đồng hóa số liệu trong các mô hình hóa học

Nhiều mô hình vận chuyển hóa học đã được sử dụng để mô phỏng các quá trình phức tạp liên quan đến sự hình thành và vận chuyển các chất ô nhiễm không khí. Trong ba mươi năm qua, những nỗ lực lớn đã được dành cho việc

phát triển các mô hình khí quyển số để tạo ra các dự báo chất lượng không khí chính xác.

Theo truyền thống, mô hình vận chuyển hóa học (Chemical Transport Model-CTM) trong CMAQ đã được sử dụng rộng rãi để dự báo chỉ số chất lượng không khí. Mô hình CTM trong CMAQ áp dụng nguyên tắc vật lý và phương pháp thống kê để mô hình hóa phát xạ, di chuyển, khuếch tán và lắng đọng. Mặc dù các mô hình này có thể dự đoán sự biến đổi về không gian của nhiều loại hóa chất, nhưng độ chính xác của các mô hình này thường bị hạn chế. Độ chính xác của CTM bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi các lỗi tham số mô hình và kiểm kê sự phát thải; trong đó việc cập nhật kịp thời số liệu kiểm kê phát thải là điều kiện cần thiết để dự báo chất lượng không khí.

Do đó, trong hai thập kỷ qua, các phương pháp đồng hóa số liệu đã được áp dụng trên cơ sở sử dụng các nguồn số liệu có sẵn khác nhau để cải thiện kết quả dự báo. Một trong những kỹ thuật được phát triển và áp dụng gần đây là kỹ thuật Machine Learning (khả năng tự học hỏi dựa trên số liệu vào mà không cần được lập trình cụ thể) cung cấp các cơ hội mới để cải thiện dự báo chất lượng không khí.

Gần đây, một số nhóm nghiên cứu đã bắt đầu nghiên cứu sự kết hợp giữa vật lý và lý thuyết trong các mô hình học máy định hướng số liệu (Keller và cộng sự, 2017) [50]; (Karpatne và cộng sự, 2017) [49]; (Jia và cộng sự, 2018) [28]; trong đó sử dụng tính nhất quán vật lý (ví dụ, bảo toàn khối lượng và năng lượng), điều này đã dẫn đến chất lượng của số liệu đồng hóa ổn định hơn.

Những tiến bộ trong công nghệ cảm biến và chi phí liên tục giảm của các thiết bị điện tử đã khiến các phép đo quy mô lớn trở nên khả thi. Một sự kết hợp với sức mạnh của các nền tảng điện toán đã dẫn đến một mô hình mới trong các phương pháp tính toán và thống kê để xử lý và phân tích số liệu; được gọi chung là khoa học số liệu (Hey et al., 2009) [42]. Các phương pháp học máy dựa trên số liệu ngày nay có thể xử lý các vấn đề như tinh chỉnh cục bộ. Tuy

nhiên, kiến thức hiện tại không đủ để xây dựng chúng thành một phương trình (vi phân từng phần).

Do đó, các kỹ thuật học máy dựa trên số liệu đã được áp dụng cho thấy một số thành công trong việc đánh giá chất lượng không khí có liên quan đến mô hình hóa (Christoph và cộng sự, 2017) [50]; (Chen và cộng sự, 2018) [28]. Kết quả của các nghiên cứu này đã chứng minh rằng trong một số trường hợp, phương pháp học máy dựa trên số liệu có thể tạo ra kết quả với độ chính xác cao.

Một số nghiên cứu như Caldwell và cộng sự (2014) [22] cũng thừa nhận rằng khái niệm ứng dụng hộp đen trong khoa học số liệu cho đến nay chỉ đáp ứng thành công hạn chế. Tuy nhiên, việc ứng dụng các kỹ thuật trong đồng hóa số liệu vẫn là một giải pháp hữu ích hiện nay vì trên thực tế, số lượng biến trạng thái trong mô hình khí quyển vượt xa các đo đạc, quan trắc, bởi vì đối với mô hình số có hàng triệu hoặc thậm chí hàng tỷ điểm lưới, không thể thực hiện các phép đo chính xác ở mọi điểm lưới và mỗi bước thời gian.

Phương pháp này đã được Jin và cộng sự (2018) [47] nghiên cứu đã áp dụng thử nghiệm trong việc đồng hóa số liệu để dự báo aerosol. Để thực hiện nghiên cứu này, đầu tiên ước tính nồng độ PM_{10} cục bộ ở những khu vực không có bụi bằng cách sử dụng kỹ thuật Machine Learning dựa trên điều khiển số liệu (data-driven) và tính toán nồng độ bụi bằng cách trừ giá trị PM_{10} không bụi từ các quan trắc PM_{10} thô. Thứ hai, nồng độ bụi thu được sẽ được sử dụng trong quá trình đồng hóa số liệu CTM. Thứ ba, dự báo toàn bộ sol khí (aerosol) sẽ được cung cấp bằng cách kết hợp từ giải pháp Machine Learning và kết quả đồng hóa số liệu CTM.

Để dự báo những khu vực không có bụi, mạng nơron được sử dụng để ước tính sol khí không bụi cục bộ. Số liệu lịch sử cho việc lấy mẫu là số liệu từ mạng lưới quan trắc trên mặt đất. Mô phỏng dự kiến sẽ có sự thống nhất với

nồng độ PM_{10} khi không có bão bụi và đánh giá giảm dần trong trường hợp có bão bụi. Các số liệu đầu vào là các số liệu liên quan đến khí tượng địa phương như nhiệt độ, điểm sương, tốc độ gió, hướng gió và các số liệu liên quan đến chất lượng không khí tĩnh như $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , O_3 , CO .

1.3.2.2. Đồng hóa số liệu vệ tinh trong giám sát ô nhiễm không khí

Sự đa dạng ngày càng tăng của các số liệu vệ tinh liên quan đến việc truy xuất các thành phần chất lượng không khí trong khí quyển làm cho việc đồng hóa số liệu hóa học trở thành một phương pháp ngày càng khả thi để thu được các số liệu phân tích và các điều kiện ban đầu chính xác hơn cho dự báo chất lượng không khí. Một trong các giải pháp là sử dụng phương pháp nội suy tối ưu 3 chiều (3D-optimal interpolation) hay viết tắt là 3D-OI (Kalnay, 2003) [48].

Trong những thập kỷ gần đây, việc thu thập các thành phần khí quyển qua vệ tinh đã bổ sung cho các số liệu đo từ các trạm quan trắc trên mặt đất (Martin, 2008) [61]. Các truy xuất từ vệ tinh cung cấp ước tính nồng độ cho tổng cột thẳng đứng, cho một phần cột (ví dụ: tầng đối lưu) hoặc ở một loạt các mức độ thẳng đứng và chúng bao phủ một phạm vi địa lý trên trái đất lớn hơn nhiều so với các số liệu đo đạc từ các trạm đo trên mặt đất. Do đó, các số liệu vệ tinh có tiềm năng rất lớn để sử dụng trong đồng hóa hóa học, tức là đồng hóa số liệu cho các mô hình hóa học CTM (Boisgontier và cộng sự, 2008) [21].

Nội suy tối ưu (OI) là một trong những thuật toán đồng hóa dữ liệu (ĐHDL) đơn giản nhất hiện được áp dụng cho CTM dựa trên công thức của bài toán đồng hóa. Mặc dù các giả định làm cơ sở cho OI là tương đối thô, nhưng thuật toán này dễ thực hiện và có thể đơn giản về mặt tính toán so với các phương pháp đồng hóa phức tạp hơn khác, với số lượng quan trắc và số lượng biến mô hình không quá lớn.

Trong khí tượng học, OI từ lâu đã bị vượt qua bởi các phương pháp lọc biến phân hoặc Kalman (Kalnay, 2003) [48], tuy nhiên vẫn được sử dụng trong các mô hình vận chuyển hóa học. Ví dụ, Mok và cộng sự (2008) [64] đã sử

dụng OI với mô hình Gaussian dự báo phun lưu huỳnh đioxit ở Lisbon, Bồ Đào Nha. Tương tự, Adhikary và cộng sự (2008) [19] và Matsui và cộng sự (2004) [62] đã áp dụng OI để đồng hóa việc truy xuất vệ tinh về độ sâu quang học của sol khí khi mô hình hóa nồng độ sol khí ở Đông Nam Á và miền đông Hoa Kỳ.

Trong trường hợp CTM ngoại tuyến, một sự xáo trộn nhỏ trong các điều kiện ban đầu thường sẽ phân rã khi quá trình mô phỏng diễn ra, chủ yếu do tác động từ các nguồn và các vật cản như hóa học và khí thải (Wu và cộng sự, 2008) [84]. Do đó, chất lượng của các điều kiện ban đầu ít quan trọng hơn trong mô hình chất lượng không khí so với các mô hình dự báo thời tiết số (Numerical Weather Prediction - NWP), trong đó các nhiễu động có xu hướng tăng dần theo thời gian. Trong trường hợp các loại hóa chất tồn tại trong không khí trong thời gian ngắn, thời gian của nhiễu loạn ban đầu có thể khá ngắn (ví dụ một ngày) và điều này hạn chế mức độ mà các điều kiện ban đầu có thể cải thiện dự báo. Tuy nhiên, đồng hóa số liệu hóa học có thể được sử dụng để phân tích lại lịch sử.

Wu và cộng sự (2008) [84] đã so sánh bốn phương pháp ĐHDL khác nhau (OI, hai loại bộ lọc Kalman và đồng hóa biến thiên bốn chiều) được áp dụng cho dự báo ôzôn. Nghiên cứu này liên quan đến việc đồng hóa các ước tính thu được từ vệ tinh về nồng độ nitơ điôxit (NO_2) trong tầng đối lưu. NO_2 đóng một vai trò quan trọng trong hóa học khí quyển. Ở tầng bình lưu, NO_2 tham gia vào các chu trình xúc tác phá hủy ozon (O_3) trong tầng đối lưu, NO_2 là một tiền chất quan trọng của O_3 , đặc biệt là trong môi trường đô thị bị ô nhiễm. Sự chuyển đổi lẫn nhau của NO và NO_2 và thời gian tồn tại trong khí quyển của NO_x thay đổi từ vài giờ đến vài ngày ở bề mặt đến vài tuần ở tầng đối lưu trên (Seinfeld và Pandis, 2006) [77].

Ngoài ra còn có sự thay đổi đáng kể theo mùa; Schaub và cộng sự (2007) [76] ước tính thời gian tồn tại của NO_x là khoảng 3 giờ vào mùa hè và 13 giờ

vào mùa đông. Do đó NO_2 là một chất ô nhiễm tương đối “cục bộ”. Trong các nghiên cứu này, nồng độ cột NO_2 trong tầng đối lưu được tính toán từ số liệu thu được của bộ cảm biến giám sát tầng Ôzôn Ozone Monitoring Instrument (OMI) đặt trên vệ tinh AURA của NASA.

Các số liệu NO_2 được sử dụng trong một số trường hợp để xác định lại tỷ lệ phát thải NO_x (Zhao và Wang, 2009) [90]; kiểm chứng độ chính xác dựa trên các số liệu đo trên mặt đất (Lamsal và cộng sự, 2008) [55], quang phổ kế (Ionov và cộng sự, 2006) [46], kiểm kê khí phát thải từ các phương tiện giao thông hàng không (Boersma và cộng sự, 2008) [20]; đánh giá độ tin cậy của các mô hình chất lượng không khí (Huijnen và cộng sự, 2010) [44] hoặc so sánh với các kết quả thu được từ các vệ tinh khác (Boersma và cộng sự, 2008) [35].

Số liệu NO_2 tính toán từ bộ cảm OMI được đồng hóa vào CTM; trước hết là đồng hóa về mặt không gian và thời gian. Về mặt không gian, độ phân giải không gian của mô hình CTM được sử dụng trong nghiên cứu này là khoảng $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$; trong khi độ phân giải của số liệu ảnh vệ tinh OMI khác nhau ngay trong phạm vi của một cảnh ảnh. Trên một cảnh ảnh vệ tinh chụp từ bộ cảm OMI, tại điểm chụp thẳng đứng (nadir), kích thước 1 điểm ảnh là $13 \text{ km} \times 24 \text{ km}$, trong khi điểm ảnh xa nhất tính từ nadir là $13 \text{ km} \times 128 \text{ km}$.

Về mặt thời gian, vệ tinh AURA có độ chụp lặp là 16 ngày (cung cấp số liệu 16 ngày một lần); trong khi mô hình CTM có khả năng mô hình hóa chất lượng không khí hàng giờ. Do vậy, các giải pháp đồng hóa số liệu về mặt thời gian cũng cần phải tiến hành thực hiện. Việc đồng hóa số liệu về mặt không gian và thời gian được thực dựa trên thuật toán của Kalnay (2003) [48]:

$$x_a = x_b = BH^T (HBH^T + R)^{-1} (y - Hx_b) \quad (1.1)$$

Trong đó: x_b là nồng độ NO_2 ; y là nồng độ NO_2 cột đối lưu tính toán từ số liệu vệ tinh OMI; B và R là ma trận hiệp phương sai cho x_b và y tương ứng; H là phép biến đổi tuyến tính từ không gian mô hình sang không gian quan trắc.

Các thông số được ước tính theo thời gian trung bình tháng, trung bình giờ để cho phép các mô hình mô phỏng theo mùa và ngày về nồng độ NO_2 .

Trong khi đó, một số nghiên cứu đã sử dụng phương pháp đồng hóa số liệu biến thiên bốn chiều (4DVAR) được tích hợp trong mô hình CMAQ để tối ưu hóa trạng thái ôzôn ban đầu và cải thiện khả năng dự đoán về chất lượng không khí (Elbern và Schmidt, 2001) [33]; (Penenko và cộng sự, 2002) [70]; (Hakami và cộng sự, 2007) [41].

Elbern và cộng sự (1997) [32] là những người đầu tiên đồng hóa số liệu chất lượng không khí ở tầng đối lưu vào mô hình phân tán ô nhiễm không khí của Châu Âu. Họ lập luận rằng ở giai đoạn đó việc đồng hóa số liệu chất lượng không khí chỉ giới hạn ở số liệu ôzôn tầng bình lưu thông qua các số liệu vệ tinh; trong khi đó chất lượng và số lượng số liệu vệ tinh chưa đủ nhiều và chưa đủ độ chính xác để có được kết quả dự báo chất lượng không khí tốt hơn.

Trong nghiên cứu của mình, họ đã thực hiện đồng hóa số liệu bằng cách sử dụng cả số liệu do mô hình tạo ra và các thông tin khác nhau từ các số liệu quan trắc, số liệu vệ tinh. Kết quả chỉ ra rằng khi sử dụng số liệu do mô hình tạo ra, khả năng dự đoán được cải thiện không chỉ đối với các thành phần hóa học liên quan trực tiếp với các hóa chất được sử dụng trong đồng hóa số liệu, mà còn đối với những thành phần không được sử dụng trong đồng hóa.

Trong nghiên cứu tiếp theo, Elbern và Schmidt (2001) [33] đã áp dụng 4DVAR cho các trường hợp có nồng độ ôzôn cao vào mùa hè dựa trên các số liệu quan trắc mặt đất ở Châu Âu và các địa điểm khác. Kết quả đồng hóa số liệu trong 6 giờ cho thấy khả năng dự báo được cải thiện. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng kiểm tra độ nhạy của mô phỏng mô hình đối với quá trình

đồng hóa số liệu dựa trên bán kính của vùng ảnh hưởng khi đồng hóa số liệu được thực hiện.

Chai và cộng sự (2007) [24] đã phân tích tác động của các số liệu quan trắc từ các hệ thống quan trắc khác nhau, chẳng hạn như mặt đất, hàng không dân dụng, tàu, vệ tinh quan trắc tầng ozone và số liệu lidar đối với sự đồng hóa số liệu. Số liệu của Hiệp hội Quốc tế về Nghiên cứu Khí quyển về Vận tải và Biến đổi (International Consortium for Atmospheric Research on Transport and Transformation - ICARTT) đã được thu thập và sử dụng trong nghiên cứu trên. Đặc biệt, họ đã đề xuất một phương pháp để tính toán các sai số nền, điều chưa được giải quyết chi tiết trong nghiên cứu trước đó và kiểm chứng hiệu suất của phương pháp trong mô hình.

Boisgontier và cộng sự (2008) [21] đã đồng hóa nồng độ ôzôn ở tầng đối lưu trong nghiên cứu dự báo ôzôn khu vực trước khi phóng vệ tinh MetOp của Tổ chức khai thác vệ tinh khí tượng châu Âu (EUMETSAT) vào tháng 10 năm 2006. Mặc dù nghiên cứu đã thực hiện đồng hóa số liệu bằng cách sử dụng cột số liệu về ôzôn có phạm vi từ 0-6 km trong tầng đối lưu, nhưng kỳ vọng rằng sẽ ảnh hưởng tích cực đến độ chính xác của dự đoán ôzôn trong khu vực. Quá trình đồng hóa số liệu hóa học đã được thực hiện bằng cách sử dụng NO_2 và HCHO từ vệ tinh, máy đo ánh sáng tán xạ ngược (Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric CHartography - SCIAMACHY), cùng với các số liệu quan trắc môi trường không khí ở mặt đất (Zhang và cộng sự, 2008) [89]. Kết quả cho thấy, độ chính xác kết quả dự báo sử dụng các số liệu được đồng hóa tốt hơn so với kết quả được tạo ra mà không đồng hóa số liệu.

Gou và Sandu (2011) [39] chỉ ra rằng có thể tồn tại sự khác biệt trong kết quả gradient giữa tiếp giáp (liền kề) rời rạc và liên tục trong quá trình phát triển mô hình liền kề do tính phi tuyến tính cao trong phương trình đối lưu của mô hình chất lượng không khí. Các tác giả lập luận rằng phương pháp rời rạc chính

xác hơn trong nghiên cứu độ nhạy liền kề và phương pháp liên tục nhanh hơn trong việc giảm thiểu hàm tính toán trong đồng hóa số liệu 4DVAR.

Trong nghiên cứu khác về các chất ô nhiễm nền ảnh hưởng đến nồng độ ôzôn trên mặt đất ở miền tây nước Mỹ vào mùa hè, Huang và cộng sự (2013) [43] đã áp dụng đồng hóa số liệu không chỉ để mô phỏng số mà còn để đánh giá nồng độ liên quan đến sự vận chuyển, phát tán các thành phần hóa học trong không khí. Dựa trên phân tích nồng độ ôzôn được quan trắc trên mặt đất, họ cho rằng sai số O_3 trên bề mặt mô phỏng giảm trung bình 5 ppb và mức giảm có thể lên đến tối đa là 17 ppb khi áp dụng đồng hóa số liệu. Nền ước tính O_3 được vận chuyển từ Đông Thái Bình Dương cao hơn khoảng 3 ppb do áp dụng đồng hóa số liệu.

Hầu hết các nghiên cứu trước đây về đồng hóa số liệu hóa học đã tập trung vào một hiện tượng của quy mô khái quát về khí tượng bằng cách sử dụng quan trắc dựa trên vệ tinh cũng như số liệu quan trắc trên mặt đất.

Talagrand và Courtier (1987) [82] cho rằng việc vận chuyển ô nhiễm không khí do tuần hoàn cục bộ như gió biển - đất liền không được kiểm tra kỹ lưỡng. Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến kết quả đồng hóa số liệu trong quá trình 4DVAR là sai số nền của mô hình.

Các công bố gần đây của Constantinescu và cộng sự (2007) [29]; Sliver và cộng sự (2013) [80] cho rằng các nghiên cứu trước đây đã coi các sai số nền là đại lượng vô hướng với phân bố Gauss, trong khi thiếu nghiên cứu áp dụng chúng ở dạng ma trận và xem xét hiệp phương sai thời gian.

Trong một nghiên cứu thử nghiệm ở khu vực thủ đô của Hàn Quốc, nơi các địa điểm quan trắc mặt đất phân bố dày đặc, được chọn để nghiên cứu đồng hóa số liệu. Các lập trình 4DVAR được phát triển trước đó đã được sửa đổi để xử lý các lỗi nền trong các dạng ma trận và các bài kiểm tra số khác nhau đã được thử nghiệm. Các kết quả được đánh giá bằng cách sử dụng một hàm hiệp phương sai lý tưởng hóa. Sau đó, các sai số nền thực tế được thu thập cho khu

vực xung quanh thủ đô của Hàn Quốc bằng cách sử dụng kết quả mô hình dài hạn. Đặc điểm của các lỗi nền được tạo ra trong nghiên cứu này được phân tích.

Trong nghiên cứu về 4DVAR, một số phương pháp khác nhau được áp dụng như phương pháp biến phân (Talagrand và Courtier, 1987) [82] và phương pháp tiếp cận khả năng tối đa. Trong đó phương pháp biến phân được sử dụng để giải quyết vấn đề đồng hóa số liệu 4DVAR nhằm tìm ra các biến kiểm soát để giảm thiểu sự khác biệt giữa các kết quả mô hình hóa và kết quả quan trắc thực tế.

Trong khung đồng hóa số liệu 4DVAR bị ràng buộc mạnh mẽ, số liệu quan trắc tại mọi thời điểm trong cửa sổ đồng hóa đều được xem xét đồng thời. Các biến kiểm soát trở thành phân bố nồng độ ban đầu và tất cả các kết quả tại các thời điểm trong tương lai được xác định duy nhất từ điều này trong mô hình; trong khi phương pháp tiếp cận khả năng tối đa, đồng hóa số liệu 4DVAR cung cấp một công cụ ước lượng hậu thử nghiệm tối đa về phân bố nồng độ ban đầu thực sự, thu được bằng cách giảm thiểu các tham số.

Cũng liên quan đến đồng hóa số liệu vệ tinh trong các mô hình hóa học, Mailler và cộng sự (2017) [60] đã sử dụng công cụ mô hình CHIMERE để đánh giá, phân tích và dự báo chất lượng không khí từ quy mô đô thị đến toàn cầu. Tại Pháp, nền tảng dự báo quốc gia PREV'AIR (<http://www.prevoir.org/>) cung cấp dự báo chất lượng không khí trong 4 ngày ở độ phân giải xấp xỉ 4 km đối với Pháp và khoảng 10 km đối với châu Âu (Rouil và cộng sự, 2009) [73].

Đồng hóa số liệu giữa số liệu quan trắc từ các trạm mặt đất và số liệu vệ tinh đã được xác định là một kỹ thuật để cải thiện việc lập bản đồ ô nhiễm không khí cũng như dự báo chất lượng không khí bằng cách đưa số liệu quan trắc có sẵn ở trạng thái ban đầu (Park và cộng sự, 2016) [69]; (Pagowski và cộng sự, 2010) [66].

Sandu và Chai (2011) [75] cung cấp một cái nhìn tổng quan về một số phương pháp được sử dụng trong đồng hóa số liệu vệ tinh trong các mô hình

hóa học; trong đó cho rằng ảnh hưởng của các điều kiện ban đầu mờ dần theo thời gian và trường nồng độ trở thành yếu tố ảnh hưởng chính do các quá trình phát xạ và các điều kiện biên bên trong của mô hình.

Trong nghiên cứu của Vieno và cộng sự (2016) [83], các nguyên tắc tương tự được áp dụng cho trường hợp giám sát gần thời gian thực của đợt bùng phát ô nhiễm bụi xảy ra vào tháng 3 năm 2014 tại Châu Âu. Sự kiện ô nhiễm này là cơ hội để đánh giá vai trò của ĐHDL đối với châu Âu nhằm giám sát ô nhiễm không khí.

Đối với dự báo chất lượng không khí, Menut và Bessagnet (2019) [63] đã phân tích lợi ích tiềm năng tối đa của các kỹ thuật ĐHDL bằng cách sửa đổi trạng thái ban đầu của mô phỏng. Mục tiêu nghiên cứu này không chỉ liên quan đến cơ sở lý thuyết mà còn là để đánh giá các thí nghiệm đồng hóa số liệu lý tưởng khác nhau ở góc độ dự báo dựa trên một trường hợp khí tượng thực tế và tập trung vào nồng độ bụi.

Phương pháp đồng hóa số liệu vệ tinh AOD cũng đã được một số tác giả nghiên cứu áp dụng để cải thiện chất lượng mô hình hóa. Liu và cộng sự (2011) [56] lần đầu tiên thử nghiệm khả năng đồng hóa số liệu AOD lấy từ cảm biến vệ tinh MODIS vào trong hệ thống NCEP và GSI (Gridpoint Statistical Interpolation). Kết quả nghiên cứu đã cho thấy sự đồng hóa AOD đã cải thiện dự báo về sol khí trong một sự kiện bão bụi xảy ra ở Đông Á.

Hệ thống GSI với phương pháp đồng hóa số liệu biến thiên theo thời gian (3DVAR) đã được sử dụng rộng rãi để dự báo chất lượng không khí và mở rộng cho các số liệu quan trắc aerosol bổ sung như vật chất hạt bề mặt, bao gồm tất cả các hạt có đường kính khí động học nhỏ hơn $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) hoặc lên đến $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}).

Kim và cộng sự (2017) [51] đã phát triển giải pháp đồng hóa số liệu trên cơ sở sử dụng số liệu từ bộ cảm biến Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) đặt trên vệ tinh địa tĩnh COMS (Communication, Ocean, and

Meteorology Satellite) của Hàn Quốc. Bộ cảm GOCI cung cấp khả năng truy xuất AOD hàng giờ tại nhiều dải quang phổ với phạm vi giám sát khu vực Đông Á, trong đó tập trung trên Bán đảo Triều Tiên.

Pang và cộng sự (2018) [68] đã đồng hóa các số liệu AOD từ GOCI và VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite trên vệ tinh MODIS) để dự đoán nồng độ bụi $PM_{2.5}$ ở khu vực phía đông Trung Quốc và nhận thấy rằng việc đồng hóa các truy xuất AOD từ 02 bộ cảm biến vệ tinh đã cải thiện độ chính xác của dự báo.

Để mở rộng hơn nữa khả năng đồng hóa 3DVAR trong hệ thống GSI nhằm sử dụng tốt nhất các truy xuất AOD từ GOCI, dự án hợp tác giữa Hàn Quốc và Hoa Kỳ (dự án KORUS-AQ) đã được phát triển. Trong đó, số liệu đã được xử lý trước, sau đó được đồng hóa trong kỹ thuật đồng hóa số liệu biến thiên thời gian (3DVAR) cho mô hình WRF-Chem. Kết quả đồng hóa số liệu vệ tinh giữa GOCI và MODIS và số liệu quan trắc mặt đất cho thấy khả năng dự báo nồng độ bụi $PM_{2.5}$ được cải thiện từ 6 giờ (trung bình đối với số liệu vệ tinh MODIS) lên đến 24 giờ; điều này đã đóng góp đáng kể nhất cho việc dự đoán các sự kiện ô nhiễm nặng ở Hàn Quốc.

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

Mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết WRF là một hệ thống mô hình khí quyển hiện đại phục vụ cho cả nhu cầu nghiên cứu khí quyển và vận hành dự báo. Sự phát triển của WRF bắt đầu vào cuối những năm 1990 với sự hợp tác giữa các cơ quan như: Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia (NCAR), Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia (NOAA), Cơ quan Thời tiết Không quân (AFWA), Cơ quan Nghiên cứu Hải quân Phòng thí nghiệm, Đại học Oklahoma và Cục Hàng không Liên bang.

WRF cung cấp nhiều tùy chọn cho các quá trình vật lý khí quyển và phù hợp với nhiều ứng dụng, bao gồm: Dự báo thời tiết dạng số thời gian thực, mô phỏng khí quyển lý tưởng, nghiên cứu đồng hóa số liệu, nghiên cứu bão, các ứng dụng mô hình ghép nối (two-way), nghiên cứu khí hậu khu vực, tìm kiếm dự báo. Các thành phần chính của hệ thống mô hình hóa WRF là hệ thống tiền xử lý WRF (WPS), hệ thống đồng hóa số liệu WRF (WRFDA), lõi WRF (bộ giải) và các công cụ Hậu xử lý và Hình ảnh hóa (Post-processing and Visualization tools).

2.1. Đối tượng, phạm vi và mục tiêu nghiên cứu

Chất lượng không khí được xác định bởi nồng độ các chất gây ô nhiễm trong không khí. Chất lượng không khí bị ảnh hưởng bởi loại và số lượng các chất gây ô nhiễm được thải vào không khí, các điều kiện thời tiết như tốc độ gió, lượng mưa, nhiệt độ và địa hình.

Theo QCVN 05:2013/BTNMT, CLKK xung quanh được xác định qua 8 thông số gồm SO_2 , CO , NO_x , O_3 , bụi lơ lửng tổng số (TSP), bụi PM_{10} , bụi $\text{PM}_{2.5}$ và Pb. Dựa vào đường kính khí động học của hạt bụi, bụi được chia thành: TSP có đường kính khí động học dưới hoặc bằng $100 \mu\text{m}$, có thể do nhiều chất khác nhau tạo nên, bao gồm cacbon, sulfua, khí nitơ và các hợp chất kim loại; bụi

PM₁₀ có đường kính khí động học dưới hoặc bằng 10 μm và bụi PM_{2.5} có động học nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 μm .

Bụi PM₁₀ là loại bụi có thể dễ dàng đi vào cơ thể qua đường dẫn khí và tích tụ trên phổi, lắng đọng ở đường hô hấp giữa của con người. Bụi PM_{2.5} có thể thâm nhập sâu đến tận các phế nang của phổi. Ảnh hưởng của bụi đối với sức khỏe phụ thuộc vào tính chất, nồng độ và kích thước hạt. Bụi lơ lửng có thể lan truyền rất xa gây ô nhiễm không khí trên phạm vi quy mô lớn. Mức độ các chất gây ô nhiễm không khí có thể thay đổi rất lớn từ địa điểm này sang địa điểm khác và từ giờ này sang giờ khác.

Các hạt nhỏ hơn được cho là có hại cho sức khỏe hơn là các hạt lớn bởi vì chúng có thể đi sâu vào hệ thống hô hấp, kể cả phổi. Vì lý do này, các hạt mịn PM_{2.5} có liên hệ trực tiếp đến các vấn đề sức khỏe nghiêm trọng, là thông số được tập trung nghiên cứu nhiều.

Các hạt bụi mịn PM_{2.5} và PM₁₀ có thể sinh ra từ tự nhiên như cháy rừng, bụi sa mạc, khói núi lửa, các cơn bão cát, hoặc từ thực vật và các vi sinh vật. Đa phần bụi được tạo ra từ các hoạt động của con người qua việc đốt nhiên liệu hóa thạch, bụi từ các công trình xây dựng, giao thông, đốt rác thải, khói bụi từ hoạt động công nghiệp, các hoạt động dân sinh và ô nhiễm xuyên biên giới.

Các nhà khoa học của NASA đã cho công bố một bản đồ chất lượng không khí toàn cầu, cho chúng ta thấy tình trạng phân bố những khu vực có các hạt trôi nổi với kích thước nhỏ hơn 2,5 μm . Theo bản đồ này thì hiện trạng không khí ở miền Nam Việt Nam nhìn chung đang ở mức an toàn. Tuy nhiên khu vực phía Bắc, chỉ số PM của miền Bắc Việt Nam đang ở mức cao so với mức an toàn mà Tổ chức Y tế Thế giới (World Health Organization - WHO) đưa ra.

Trước đó, tại nhiều hội thảo về môi trường, các chuyên gia môi trường trong nước cũng đã khẳng định, không khí ở hầu hết các thành thị trong cả nước

đều đang bị ô nhiễm một cách nghiêm trọng. Vì vậy việc giám sát ô nhiễm không khí để cung cấp thông tin, dự báo những ảnh hưởng, tai biến môi trường kịp thời cho người dân trong khu vực là một nhiệm vụ cấp thiết đặc biệt là các thành phố lớn ở Việt Nam nơi có hiện trạng ô nhiễm không khí rất nặng.

Công nghệ viễn thám là một phần của công nghệ vũ trụ, được phát triển từ những năm 1858, đến nay đã được áp dụng trong nhiều lĩnh vực và được phổ biến rộng rãi ở các nước phát triển. Công nghệ viễn thám đã trở thành phương tiện chủ đạo cho công tác giám sát tài nguyên thiên nhiên và môi trường ở cấp độ từng nước, từng khu vực và trong phạm vi toàn cầu. Khả năng ứng dụng công nghệ viễn thám ngày càng được nâng cao, đây là lý do công nghệ này ngày càng dễ tiếp cận hơn. Ứng dụng công nghệ viễn thám ở nước ta trong nhiều năm nay chủ yếu tập trung vào hai loại tài nguyên cơ bản là đất cùng với lớp phủ trên đất, dưới đất và nước. Tài nguyên thứ ba là không khí - liên quan trực tiếp tới sự sinh tồn của con người, nhưng công nghệ viễn thám ở nước ta chưa có ứng dụng nhiều.

Hệ thống mô hình chất lượng không khí đa qui mô 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 với giao diện thân thiện với người sử dụng. CMAQ tiếp cận chất lượng không khí một cách tổng quát với các kỹ thuật hiện đại trong các vấn đề về mô hình chất lượng không khí, bao gồm khí ôzôn trên tầng đối lưu, độc tố, bụi mịn, lắng đọng a xít, suy giảm tầm nhìn. CMAQ cũng được thiết kế đa quy mô để khỏi phải tạo ra các mô hình riêng biệt cho vùng đô thị hay nông thôn.

CMAQ là một công cụ tính toán mạnh mẽ được sử dụng để giám sát ô nhiễm không khí. Nó là một mô hình tính toán đồng thời nhiều chất gây ô nhiễm không khí bao gồm ôzôn, các hạt vật chất và một loạt các khí độc để giúp chúng ta giám sát ô nhiễm không khí.

Với nhu cầu cấp bách của xã hội, việc nghiên cứu theo dõi nồng độ bụi PM_{2.5} để giám sát ô nhiễm không khí là hết sức quan trọng. Xuất phát từ thế mạnh của công nghệ viễn thám, dữ liệu viễn thám và ưu điểm của mô hình chất lượng không khí CMAQ, nghiên cứu sinh đã xác định các nội dung quan trọng của nghiên cứu này, cụ thể như sau:

- Đối tượng nghiên cứu

Nồng độ bụi mịn PM_{2.5}; Hệ thống mô hình WRF-CMAQ; Phép lọc Kalman; Dữ liệu viễn thám Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS); Độ sâu quang học AOD.

- Phạm vi nghiên cứu

Như đã trình bày ở mục “Mở đầu” của luận án, phạm vi nghiên cứu được xác định, cụ thể như sau:

- + Phạm vi không gian: nghiên cứu trên phạm vi khu vực Hà Nội và các vùng lân cận;
- + Phạm vi thời gian: nghiên cứu qua 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.

- 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.

- Phương pháp nghiên cứu

- + 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 này được nghiên

cứu sinh sử dụng để xin ý kiến, hướng dẫn và học hỏi các vấn đề cần quan tâm của các chuyên gia theo từng lĩnh vực;

+ 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 $PM_{2.5}$ từ kết quả của mô hình theo thời gian mô phỏng;

2.2. Kỹ thuật đồng hóa số liệu

Theo Talagrand và Kalnay [82], [48], 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.

Như đã trình bày trong chương 1, nội suy tối ưu là một trong những thuật toán đồng hóa số liệu, trong thuật toán này nó tạo ra ước tính không chệch tuyến tính tốt nhất của một trường, với một tập hợp các quan sát được phân bố tùy ý và được gọi là ước tính không thiên vị tuyến tính tốt nhất BLUE.

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. Bộ lọc Kalman tương đối đơn giản và yêu cầu lượng tính toán nhỏ. Các phép đo không cần phải là của chính các biến trạng thái, mà phải liên quan đến chúng thông qua một hàm có thể được tuyến tính hóa.

Bộ lọc Kalman là tối ưu, theo nghĩa là nó giảm thiểu phương sai của sai số ước tính, đối với các mô hình tuyến tính có nhiễu độc lập, tính trong cả mô hình và hệ thống đo lường. Mặc dù nó được thiết kế cho các bài toán tuyến tính, một phiên bản mới đã sớm được phát hiện, được gọi là Bộ lọc Kalman mở rộng

(Extended Kalman Filter - EKF), đã được sử dụng cho các ứng dụng phi tuyến tính của bộ lọc Kalman (University of Crete, 2016) [93].

Trong khí tượng học, bộ lọc Kalman được sử dụng rộng rãi để cải thiện dự đoán của các biến quan tâm, hầu hết các toán tử quan trắc đều là phi tuyến tính, do đó, EKF được áp dụng rộng rãi. Các toán tử quan trắc này có thể được tuyến tính hóa bằng cách sử dụng mở rộng chuỗi Taylor xung quanh trạng thái dự đoán hiện tại. Bộ lọc Kalman phù hợp với ứng dụng dự báo thời tiết, chất lượng không khí và được áp dụng trong hệ thống mô hình WRF-CMAQ nên, trong khuôn khổ của luận án, nghiên cứu sinh chỉ tập trung nghiên cứu bộ lọc này. Thuật toán của bộ lọc Kalman bao gồm bộ lọc Kalman mở rộng và bộ lọc Kalman tổ hợp [34], [52], [81], [93] được trình ở phần sau.

2.2.1. Thuật toán của bộ lọc Kalman mở rộng

Trong quá trình đồng hóa dữ liệu tại thời điểm t_i chúng ta sử dụng kết quả dự báo của một trạng thái trước đó, được ký hiệu là $x^f(t_i)$, đồng thời tại thời điểm t_i ta có một tập hợp các quan sát được gắn vào vector y_i^0 . Với dự báo $x^f(t_i)$ và các quan sát y_i^0 thực hiện phân tích và thu được trạng thái dự báo $x^a(t_i)$. Sau đó, tiếp tục tăng $x^a(t_i)$ từ thời điểm t_i đến t_{i+1} bằng cách sử dụng mô hình và tạo dự báo trạng thái mới tại thời điểm t_{i+1} được ký hiệu là $x^f(t_{i+1})$. Dự báo trạng thái mới này sẽ đóng vai trò là nền trong chu kỳ tiếp theo và tiếp tục lặp đi lặp lại quá trình.

Mặc dù, thuật toán bộ lọc Kalman tương tự với nội suy tối ưu nhưng có sự khác biệt chính: trong nội suy tối ưu, chúng ta giả định rằng hiệp phương sai lỗi nền \mathbf{B} là một ma trận không đổi, trong khi đó với bộ lọc Kalman, chúng ta cập nhật hiệp phương sai sai dự báo $\mathbf{P}^f(t_i)$ ở các bước dự báo bằng cách sử dụng mô hình. Bộ lọc Kalman ban đầu được thiết kế cho mô hình tuyến tính

nhưng trong nghiên cứu hiện tại, bộ lọc Kalman mở rộng (EKF) được sử dụng cho các ứng dụng phi tuyến của lọc Kalman [93].

Trạng thái dự báo được nâng lên từ thời điểm phân tích trước đó là t_{i-1} đến thời điểm hiện tại, thông qua mô hình dự báo

$$x^f(t_i) = M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) \right] \quad (2.1)$$

Trong phần tiếp theo của lọc Kalman, giả định cơ bản là các lỗi liên quan đến các ước tính và các quan sát tuân theo phân phối chuẩn không trung bình. Do mô hình là không hoàn hảo và có sai số, nên giả định rằng trạng thái thực của khí quyển được đưa ra bởi

$$x^t(t_i) = M_{i-1} \left[x^t(t_{i-1}) \right] + \eta(t_{i-1}) \quad (2.2)$$

trong đó: $\eta(t_{i-1})$ là quá trình nhiễu (sai số nội tại) với ma trận hiệp phương sai $\mathbf{Q}_{i-1} = E \{ \eta_{i-1} \eta_{i-1}^T \}$, trong đó $\eta_{i-1} = \eta(t_{i-1})$

Phương sai dự báo có thể thu được bằng cách tuyến tính hóa, giữa hai bước thời gian liên tiếp t_{i-1} và t_i . Do đó, chúng ta đưa ra một nhiễu loạn $\delta x(t_i)$ của các điều kiện ban đầu và ta có:

$$\begin{aligned} x(t_i) + \delta x(t_i) &= M_{i-1} \left[x(t_{i-1}) + \delta x(t_{i-1}) \right] \\ &= M_{i-1} \left[x(t_{i-1}) \right] + \mathbf{L}_{i-1} \delta x(t_{i-1}) + O(|\delta x|^2) \end{aligned} \quad (2.3)$$

trong đó \mathbf{L} là mô hình tuyến tính tiếp tuyến, tức là, ma trận biến đổi nhiễu loạn ban đầu tại thời điểm t_{i-1} thành nhiễu loạn cuối cùng tại thời điểm t_i .

Một lần nữa, chúng ta giả định rằng các quan sát có chứa sai số với ma trận hiệp phương sai $\mathbf{R}_i = E \{ \varepsilon_i^0 \varepsilon_i^{0T} \}$ và được cho bởi

$$y_i^0 = H \left[x^t(t_i) \right] + \varepsilon_i^0 \quad (2.4)$$

trong đó H là toán tử quan sát (phi tuyến).

Sai số trong một khoảng thời gian dự báo phụ thuộc vào sai số ban đầu và các sai số phát sinh từ mô hình dự báo. Sử dụng (2.1) và (2.2), chúng ta có

$$\begin{aligned}
\varepsilon_i^f &= x^t(t_i) - x^f(t_i) \\
&= M_{i-1} \left[x^t(t_{i-1}) \right] + \eta(t_{i-1}) - M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) \right] \\
&= M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) + x^t(t_{i-1}) - x^a(t_{i-1}) \right] + \eta(t_{i-1}) - M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) \right] \\
&\approx M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) \right] + \mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a + \eta(t_{i-1}) - M_{i-1} \left[x^a(t_{i-1}) \right]
\end{aligned}$$

trong đó biểu thức cuối cùng là kết quả của triển khai chuỗi Taylor bậc nhất xung quanh $x^a(t_{i-1})$ bỏ qua các số hạng bậc cao hơn và ta thu được phương trình

$$\varepsilon_i^f \approx \mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a + \eta_{i-1} \quad (2.5)$$

Giả sử rằng sai số dự báo ε_i^f có giá trị đặc trưng thống kê của sai số, chúng ta tiếp tục với việc tính toán ma trận hiệp phương sai của sai số dự báo, được cho bởi:

$$\begin{aligned}
\mathbf{P}^f(t_i) &= E \left\{ \varepsilon_i^f \varepsilon_i^{fT} \right\} \\
&= E \left\{ (\mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a + \eta_{i-1}) (\mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a + \eta_{i-1})^T \right\} \\
&= E \left\{ (\mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a + \eta_{i-1}) (\varepsilon_{i-1}^{aT} \mathbf{L}_{i-1}^T + \eta_{i-1}^T) \right\} \\
&= E \left\{ \mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a \varepsilon_{i-1}^{aT} \mathbf{L}_{i-1}^T + \mathbf{L}_{i-1} \varepsilon_{i-1}^a \eta_{i-1}^T + \eta_{i-1} \varepsilon_{i-1}^{aT} \mathbf{L}_{i-1}^T + \eta_{i-1} \eta_{i-1}^T \right\} \\
&= \mathbf{L}_{i-1} E \left\{ \varepsilon_{i-1}^a \varepsilon_{i-1}^{aT} \right\} \mathbf{L}_{i-1}^T + \mathbf{L}_{i-1} E \left\{ \varepsilon_{i-1}^a \eta_{i-1}^T \right\} + E \left\{ \eta_{i-1} \varepsilon_{i-1}^{aT} \right\} \mathbf{L}_{i-1}^T + E \left\{ \eta_{i-1} \eta_{i-1}^T \right\}
\end{aligned}$$

Thuật ngữ $E\{\varepsilon_{i-1}^a \varepsilon_{i-1}^{aT}\}$ là ma trận hiệp phương sai sai số phân tích $\mathbf{P}^a(t_{i-1})$ tại thời điểm t_{i-1} và có thể được tính toán trong nội suy tuyến tính. Vì thế

$$\mathbf{P}^f(t_i) = \mathbf{L}_{i-1} \mathbf{P}^a(t_{i-1}) \mathbf{L}_{i-1}^T + \mathbf{Q}_{i-1} \quad (2.6)$$

Sau khi hoàn thành bước dự báo tại thời điểm t_i , thu được vectơ mới là

$$\begin{aligned} d_i &= y_i^0 - H[x^f(t_i)] \\ &= y_i^0 - H[x^t(t_i) + x^f(t_i) - x^t(t_i)] \\ &= y_i^0 - H[x^t(t_i)] - \mathbf{H}_i[x^f(t_i) - x^t(t_i)] \\ &= \varepsilon_i^0 - \mathbf{H}_i \varepsilon_i^f \end{aligned} \quad (2.7)$$

Ma trận trọng số tối ưu hoặc hệ số gia tăng Kalman \mathbf{K}_i thu được khi tối thiểu hóa hiệp phương sai phân tích \mathbf{P}_i^a , ta có

$$\begin{aligned} \mathbf{K} &= E\left\{(x^t - x^f)[y^0 - H(x^f)]^T\right\} \left[E\left\{[y^0 - H(x^f)][y^0 - H(x^f)]^T\right\} \right]^{-1} \\ &= E\left\{(-\varepsilon^f)[\varepsilon^0 - \mathbf{H}\varepsilon^f]^T\right\} \left[E\left\{[\varepsilon^0 - \mathbf{H}\varepsilon^f][\varepsilon^0 - \mathbf{H}\varepsilon^f]^T\right\} \right]^{-1} \\ &= E\left\{-\varepsilon^f(\varepsilon^0)^T + \varepsilon^f(\varepsilon^f)^T \mathbf{H}^T\right\} \left[E\left\{\varepsilon^0(\varepsilon^0)^T - \varepsilon^0(\varepsilon^f)^T \mathbf{H}^T - \mathbf{H}\varepsilon^f(\varepsilon^0)^T + \mathbf{H}\varepsilon^f(\varepsilon^f)^T \mathbf{H}^T\right\} \right]^{-1} \\ &= E\left\{\varepsilon^f(\varepsilon^f)^T\right\} \mathbf{H}^T + \left[E\left\{\varepsilon^0(\varepsilon^0)^T\right\} + \mathbf{H}E\left\{\varepsilon^f(\varepsilon^f)^T\right\} \mathbf{H}^T \right]^{-1} \\ &= \mathbf{P}^f \mathbf{H}^T \left[\mathbf{R} + \mathbf{H} \mathbf{P}^f \mathbf{H}^T \right]^{-1} \end{aligned}$$

Do đó, hệ số gia tăng Kalman, sau khi hoàn thành bước dự báo i , được đưa ra bởi

$$\mathbf{K}_i = \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T \left[\mathbf{R}_i + \mathbf{H}_i \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T \right]^{-1} \quad (2.8)$$

Trạng thái phân tích và hiệp phương sai của nó có thể được viết như trong nội suy tối ưu, sử dụng ma trận $\mathbf{P}^f(t_i)$ và \mathbf{K}_i được tính toán, thay vì \mathbf{B} và \mathbf{W} , tương ứng. Do đó, chúng ta có

$$x^a(t_i) = x^f(t_i) + \mathbf{K}_i \left[y_i^0 - H \left[x^f(t_i) \right] \right] \quad (2.9)$$

$$\mathbf{P}^a(t_i) = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_i \mathbf{H}_i) \mathbf{P}^f(t_i) \quad (2.10)$$

Theo giả thiết sai số phân bố chuẩn, x^a cho bởi (2.9) là giá trị trung bình của phân bố trạng thái thực x^f tại thời điểm t_i , có nghĩa nó là ước lượng tối ưu của trạng thái.

Tóm lại, 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:*

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

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

• *Bước phân tích:*

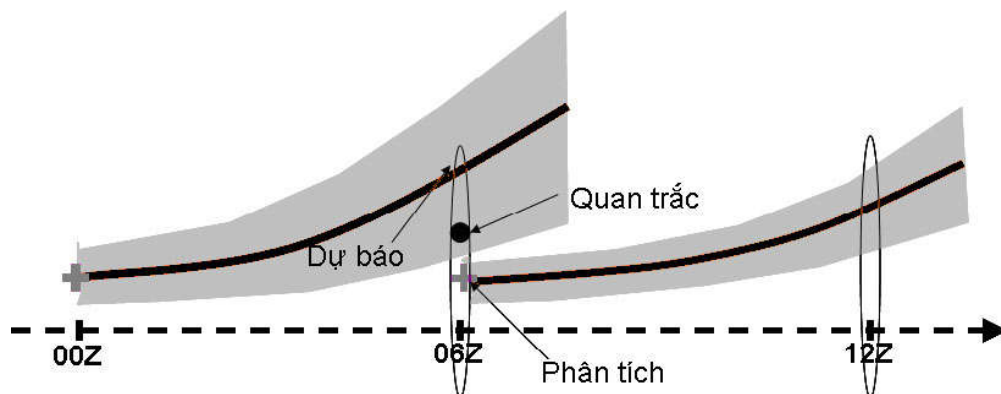
$$\mathbf{K}_i = \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T \left[\mathbf{R}_i + \mathbf{H}_i \mathbf{P}^f(t_i) \mathbf{H}_i^T \right]^{-1}$$

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

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

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. Do đó, nếu bước thời gian giữa hai lần cập nhật liên tiếp đủ dài và kết hợp với các quan sát không liên tục, nó có thể dẫn đến ước lượng gần đúng của hiệp phương sai lỗi dự báo, do đó dẫn đến phân kỳ của bộ lọc.

Như vậy, ở bước phân tích này thu được một ước lượng ban đầu mới tốt hơn từ một trạng thái dự báo (hay dự báo nền) và quan trắc cho trước. Sau khi thu được trạng thái mới $x^a(t_i)$ và ma trận sai số mới $P^a(t_i)$, quá trình dự báo lại được lặp lại cho bước đồng hóa kế tiếp theo. Một cách tóm tắt, lọc Kalman được cho bởi minh họa trong *Hình 2.1*.



Hình 2.1: Các bước chính dự báo và quan trắc của bộ lọc EKF

Mặc dù có ưu điểm vượt trội so với các phương pháp đồng hóa biến phân, lọc Kalman theo phương trình (2.1), (2.6), (2.8), (2.9), (2.10) khó áp dụng trực tiếp trong các mô hình dự báo có tính phi tuyến cao và bậc tự do rất lớn. Một số khó khăn chính của bộ lọc Kalman ở trên là:

- Xây dựng mô hình tiếp tuyến L ;
- Lưu trữ và thao tác các ma trận sai số với số chiều có kích thước quá lớn;

- Sai số nội tại của mô hình Q không được biết đầy đủ.

Việc xây dựng mô hình tiếp tuyến L có thể được giải quyết bằng cách sử dụng một biến thể khác của bộ lọc Kalman, gọi là Kalman tổ hợp (EnKF) được đề xuất lần đầu bởi Evensen (1994).

Lưu trữ và thao tác các ma trận sai số được khắc phục bằng cách cục bộ hóa các số liệu quan trắc xung quanh từng điểm nút lưới (localization) hoặc đồng hóa lần lượt từng giá trị quan trắc theo chuỗi (serial).

Trong bước phân tích của bộ lọc Kalman quá trình ban đầu hóa không được trình bày một cách cụ thể. Tuy nhiên, các phân tích chi tiết cho thấy trong thực tế, bộ lọc Kalman đã tính đến quá trình ban đầu hóa một cách nội tại trong bước dự báo. Điều này là do trong bước dự báo này, ma trận sai số hiệp biến nền sẽ được tích phân theo thời gian. Do đó, các tương quan chéo giữa các biến động lực sẽ được hiệu chỉnh theo thời gian. Ở một giới hạn đủ dài, ma trận sai số hiệp biến nền thu được từ bộ lọc này sẽ có khả năng phản ánh được các tương quan chéo giữa các biến động lực và như vậy thông tin quan trắc thu được của bất kỳ một biến nào cũng sẽ được cập nhật cho tất cả các biến mô hình khác. Đây chính là ưu điểm của bộ lọc Kalman.

2.2.2. Thuật toán của bộ lọc Kalman tổ hợp

Theo Andrew C. Lorenc (2003) [58], Geir Evensen (2009) [34], Kiều Quốc Chánh (2011) [3], Kieu Quoc Chanh và cộng sự (2012) [25], 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 phải được cải tiến để có thể áp dụng được cho các bài toán nghiệp vụ. Một cách tiếp cận phổ biến nhất dựa trên tích phân ngẫu nhiên Monte-Carlo, theo đó một tập các đầu vào được tạo ra xung quanh một giá trị trường phân tích cho trước. Lưu ý rằng tập đầu vào này không phải được lấy bất kỳ mà được tạo ra dựa theo phân bố xác suất cũng như giá trị sai số của trường phân tích

P^a tại từng thời điểm. Phân bố của trường phân tích có dạng phân bố chuẩn Gauss, khi đó tập đầu vào của trường phân tích sẽ phải tuân theo phân bố:

$$P_{P^a}(X^a) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |P^a|^{1/2}} e^{\frac{1}{2}(X^a - \bar{X}^a)(P^a)^{-1}(X^a - \bar{X}^a)^T} \quad (2.11)$$

trong đó: \bar{X}^a là giá trị trường phân tích trung bình tổ hợp thu được từ bước phân tích của lọc Kalman. Với một tập K các đầu vào $\{X_k^a\}_{k=1..K}$ sinh ra từ phân bố (2.11), có thể thu được ma trận sai số hiệp biến dự báo cho bước thời gian tiếp theo như sau:

$$P^f \approx \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (X_k^f - \bar{X}^f)(X_k^f - \bar{X}^f)^T \quad (2.12)$$

$$\text{trong đó: } X_k^f(t_{i+1}) = M[X_k^a(t_i)].$$

Ngoài việc giảm lược quá trình phát triển mô hình tiếp tuyến, cách tiếp cận EnKF có một vài ưu điểm nổi trội bao gồm:

- Rút bớt các tính toán với các ma trận có số chiều lớn;
- Không cần tuyến tính hóa mô hình cũng như mô hình liên hợp (adjoint);
- Cung cấp một tổ hợp các nhiễu ban đầu tối ưu hóa cho việc dự báo các ma trận sai số hiệp biến.

Trong phần này một biến thể cụ thể của lọc EnKF, gọi là lọc EnKF tổ hợp biến đổi cục bộ hóa (Local Ensemble Transform Kalman Filter - LETKF) sẽ được trình bày. Đây cũng chính là phương pháp sẽ được lựa chọn và đưa vào module đồng hóa WRFDA trong phần sau của nghiên cứu này.

Một cách cơ bản, lọc LETKF là một phương pháp theo đó tại mỗi điểm nút lưới, lựa chọn một lân cận mô hình với kích thước cho trước. Với không gian con này, sẽ chọn ra tất cả các quan trắc bên trong không gian này và tạo ra

một vector quan trắc lân cận riêng biệt. Sau đó, sử dụng ma trận nhiều tổ hợp nền để biến đổi từ không gian xác định bởi số điểm nút lưới cục bộ sang không gian con xác định bởi số thành phần tổ hợp. Điều này sẽ 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. Để minh họa thuật toán một cách rõ ràng, nhắc lại rằng ma trận nhiều tổ hợp nền X^f (có số chiều $N \times K$) được định nghĩa như sau:

$$X^f = \left\{ X_1^f - \bar{X}^f \mid X_2^f - \bar{X}^f \mid \dots \mid X_K^f - \bar{X}^f \right\} \quad (2.13)$$

trong đó

$$\bar{X}^f = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_k^f$$

Gọi w là một vector biến đổi trong không gian tổ hợp được định nghĩa như sau:

$$x = \bar{x}^{-b} + X^b w \quad (2.14)$$

Khi đó, hàm giá trong không gian tổ hợp cục bộ sẽ chuyển thành

$$\hat{J}(w) = (k-1)w^T \left\{ I - (X^b)^T [X^b (X^b)^T]^{-1} X^b \right\} w + J[x^b + X^b w] \quad (2.15)$$

trong đó: $J[x^b + X^b w]$ là hàm giá trong không gian mô hình.

Hàm giá sẽ được cực tiểu hóa nếu w là trực giao với không gian con rỗng của toán tử X^f . Lấy đạo hàm của $\hat{J}(w)$ theo w và sử dụng: $\nabla_x (d^T x) = d$; $\nabla_x (x^T A x) = 2Ax$ sẽ thu được giá trị \bar{w}^a làm cực tiểu hóa hàm giá (2.15) như sau:

$$\bar{w}^a = \hat{P}^a (Y^f)^T R^{-1} \left[y^o - H \left(\bar{x}^f \right) \right] \quad (2.16)$$

trong đó

$$Y^f \equiv \left[H(x_1^f - \bar{x}^f), H(x_2^f - \bar{x}^f), \dots, H(x_K^f - \bar{x}^f) \right] \quad (2.17)$$

$$\text{và} \quad \hat{P}^a = \left[(K-1)I + (Y^f)^T R^{-1} Y^f \right]^{-1} \quad (2.18)$$

Như vậy, trong không gian tổ hợp, ma trận trọng số thu được từ (2.6) sẽ có dạng $\hat{K} = \hat{P}^a (Y^f)^T R^{-1}$ và do đó ma trận trọng số K trở thành:

$$K = X^f \hat{K} = X^f \hat{P}^a (Y^f)^T R^{-1} \quad (2.19)$$

Với ma trận K thu được ở trên, giá trị trạng thái phân tích trung bình tổ hợp tại điểm nút đang quan tâm sẽ được cho bởi:

$$\bar{x}^a = \bar{x}^f + K \left[y^o - H \bar{x}^f \right] \quad (2.20)$$

Cũng giống như trong bộ lọc EnKF, nhiệm vụ cuối cùng là xây dựng bộ tổ hợp các trạng thái phân tích. Để làm điều đó, lưu ý:

$$P^f = \frac{1}{K-1} X^f (X^f)^T \quad \text{và} \quad P^a = \frac{1}{K-1} X^a (X^a)^T$$

Sử dụng mối quan hệ $P^a = (I - KH)P^f$ và kết hợp với (2.19), thu được

$$\begin{aligned} P^a &= \frac{1}{K-1} X^a (X^a)^T = \left(I - X^f \hat{P}^a (Y^f)^T R^{-1} \right) \frac{1}{K-1} X^f (X^f)^T \\ &= \frac{1}{K-1} X^f \left(I - \hat{P}^a (Y^f)^T R^{-1} Y^f \right) (X^f)^T \\ &= \frac{1}{K-1} X^f \hat{P}^a \left(\left(\hat{P}^a \right)^{-1} - (Y^f)^T R^{-1} Y^f \right) (X^f)^T \end{aligned} \quad (2.21)$$

Sử dụng (2.18), sẽ thu được:

$$X^a (X^a)^T = (K-1) X^f \hat{P}^a (X^f)^T \quad (2.22)$$

và do đó,

$$X^a = X^f \left[(K-1) \hat{P}^a \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

Quá trình đồng hóa theo bộ lọc LETKF như vậy có thể được tóm tắt như sau:

- **Bước 1:** Tại mỗi điểm nút lưới, chọn một vùng thể tích lân cận bao xung quanh điểm nút đó để xây dựng ma trận nhiễu nền cục bộ $X^f = \left[\left(x_1^f - \bar{x}^f \right), \left(x_2^f - \bar{x}^f \right), \dots, \left(x_K^f - \bar{x}^f \right) \right]$;

- **Bước 2:** Trong mỗi thể tích lân cận, tìm tất cả các quan trắc bên trong thể tích lân cận này và xây dựng ma trận quan trắc nhiễu nền $Y^f \equiv \left[H \left(x_1^f - \bar{x}^f \right), H \left(x_2^f - \bar{x}^f \right), \dots, H \left(x_K^f - \bar{x}^f \right) \right]$ (nếu H là toán tử tuyến tính, khi đó $Y^f = KX^f$). Đồng thời xây dựng ma trận sai số quan trắc \mathbf{R} ứng với các quan trắc bên trong thể tích;

- **Bước 3:** Tính ma trận sai số hiệp biến biến đổi \hat{P}^a theo (2.18) và sau đó ma trận trọng số \mathbf{K} theo (2.19);

- **Bước 4:** Cập nhật giá trị trung bình tổ hợp cục bộ \bar{x}^a theo (2.20);

- **Bước 5:** Tính ma trận nhiễu phân tích \bar{X}^a theo (2.23) và cộng vào \bar{x}^a để thu được tổ hợp phân tích lân cận mới $\left(x^a = \bar{x}^a + X_k^a \right)$;

- **Bước 6:** Chọn điểm giữa của tổ hợp vector phân tích lân cận x_k^a và gán điểm này cho điểm nút lưới chọn ở bước 1;

- **Bước 7:** Quay trở lại bước 1 và lặp cho đến hết tất cả các điểm nút lưới.

Có thể nhận thấy dễ dàng trong các bước tính toán ở phía trên rằng các điểm nút lưới khác nhau được thực thi một cách hoàn toàn độc lập với nhau. Đây là một ưu điểm của lọc LETKF vì có thể song song hóa bộ lọc này 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 lên rất nhiều và giúp lọc LETKF có được ưu điểm mà lọc EKF không có được. Vì vậy, bộ lọc LETKF đã được chọn để ứng dụng trong việc đồng hóa số liệu vệ tinh AOD cho hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

2.3. Đồng hóa số liệu trong mô hình WRF

Hệ thống đồng hóa số liệu trong WRF ban đầu dựa trên hệ thống 3DVAR của Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển thuộc Đại học Quốc gia Pennsylvania thế hệ thứ năm (MM5). Do đó, phiên bản đầu tiên của thành phần đồng hóa số liệu WRF bao gồm thuật toán 3DVAR và vì lý do đó, được đặt tên là WRF3DVAR. Sau đó, một sơ đồ đồng hóa 4DVAR đã được đưa vào và tên được đổi thành WRFVAR. Tương tự như vậy, vào 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.

WRFDA được sử dụng để đưa các quan trắc vào các phân tích nội suy được tạo bởi Hệ thống tiền xử lý (WPS) nhưng cũng có thể được sử dụng để cập nhật các điều kiện ban đầu của mô hình WRF khi mô hình WRF được 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.

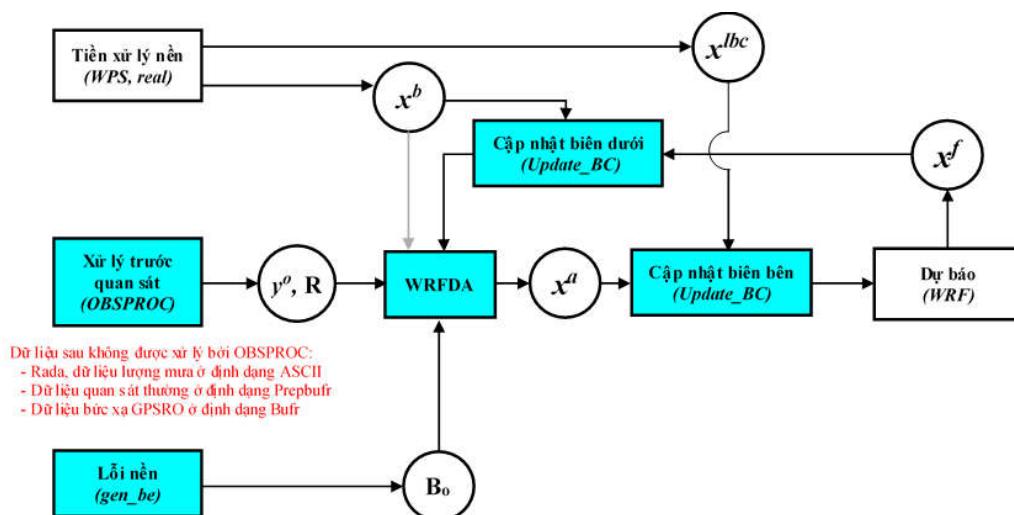
Các số liệu quan trắc tại các điểm quan trắc mặt đất cũng có thể được sử dụng trong quá trình đồng hóa, tuy nhiên có một số hạn chế, ví dụ: 1) chỉ có thể mô tả chất lượng không khí tại một vị trí và một thời điểm cụ thể; 2) các điểm quan trắc không được bố trí rải đều trên khu vực nghiên cứu.

Mục đích của nghiên cứu này là xây dựng giải pháp kỹ thuật, quy trình tích hợp số liệu vệ tinh để tạo được bộ số liệu đầu vào cho mô hình CMAQ. Kết quả của mô hình mang tính chất tổng quát cho một khu vực rộng tại một

thời điểm tức thời có tính đến quá trình vận chuyển, khuếch tán, biến đổi hóa học và lắng đọng, từ đó có thể xác định được nguồn gây ô nhiễm.

Số liệu tại các điểm quan trắc theo phương pháp truyền thống phục vụ công tác đối sánh với kết quả từ mô hình.

Các thành phần khác nhau của hệ thống WRFDA được hiển thị bằng màu xanh lam trong sơ đồ bên dưới (Hình 2.2), cùng với mối quan hệ của chúng với phần còn lại của hệ thống mô hình WRF. Các vòng tròn được liên kết trực tiếp với hộp WRFDA đại diện cho các bộ số liệu liên quan đến quá trình WRFDA, trong khi các hộp còn lại tương ứng với các thuật toán của hệ thống ARW. Quá trình này được sử dụng để đồng hóa số liệu AOD từ vệ tinh MODIS trong mô phỏng của luận án.



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

Trong đó:

x^b : dự đoán đầu tiên từ WRF trước đó hoặc từ đầu ra WPS/real.exe;

x^{lbc} : ranh giới biên từ đầu ra WPS/real.exe;

x^a : phân tích được cung cấp bởi hệ thống đồng hóa số liệu WRFDA;

x^f : đầu ra dự báo WRF;

y^o : các quan trắc được xử lý bởi tiện ích OBSPROC;

B₀: thống kê lỗi nền từ số liệu BE chung (CV3) hoặc “*gen_be*”.

R: thống kê lỗi quan trắc và đại diện.

Như có thể thấy trong *Hình 2.2*, WRFDA cần ba đầu vào:

Một dự đoán đầu tiên x^b : Đây thường là dự báo hoặc phân tích từ một mô hình khác được cung cấp bởi hệ thống tiền xử lý (WPS), xác định miền mô phỏng và nội suy các trường dự báo từ các mô hình khác sang miền mô phỏng đích. Trong chế độ chạy two-way thì không cần xử lý nền vì trường nền x^b là dự báo ARW ngắn hạn được cung cấp từ bước trước.

Quan trắc y^o : Số liệu quan trắc có thể được cung cấp bằng cách sử dụng tiện ích tiền xử lý quan trắc “obsproc”. Mục đích của tiện ích này là loại bỏ các quan trắc bên ngoài thời gian và miền không gian đã chỉ định, sắp xếp lại và hợp nhất các báo cáo số liệu trùng lặp, truy xuất áp suất hoặc độ cao dựa trên thông tin quan trắc sử dụng giả định thủy tĩnh, thực hiện kiểm soát chất lượng cơ bản, gán tổng sai số quan trắc và phương sai R cuối cùng, định dạng lại các quan trắc thành định dạng 3DVAR.

Một hiệp phương sai của lỗi nền **B₀**: Hiệp phương sai lỗi nền được cung cấp cùng với tiện ích “*gen_be*”. Đặc điểm kỹ thuật của hiệp phương sai lỗi nền là rất quan trọng đối với phân tích cuối cùng thu được bởi quá trình đồng hóa.

2.3.1. Hiệp phương sai lỗi nền

Ma trận hiệp phương sai lỗi nền (B) là một thành phần chính của đồng hóa dữ liệu, chúng được sử dụng để chuẩn đoán thống kê thông số lỗi cho các loài hóa học. Sai số xác suất được cho là phân phối chuẩn và B được xác định cho một tập hợp giới hạn các biến, được gọi là các biến kiểm soát.

Không giống như các kỹ thuật tổng hợp, các phương pháp đồng hóa biến thiên không phát triển một cách rõ ràng các hiệp phương sai lỗi nền trong thời gian thực. Thay vào đó, số liệu thống kê khí hậu thường được ước tính gần đúng bằng cách sử dụng các nhiễu tổng hợp hoặc sử dụng phương pháp “National Meteorological Center (NMC)”. Phương pháp NMC đã được hầu hết các trung tâm NWP áp dụng để ước tính hiệp phương sai dự báo bằng cách sử dụng sự khác biệt x' giữa các dự báo có giá trị tại cùng một thời điểm.

Hệ thống WRFDA bao gồm tiện ích “*gen_be*” đã được NCAR thiết kế để tính toán các ước tính khí hậu theo miền cụ thể về hiệp phương sai dự báo, thay vì sử dụng thống kê mặc định được cung cấp trong bản phát hành. Hiệp phương sai lỗi nền được định nghĩa là:

$$B = E \left\{ \varepsilon_b \varepsilon_b^T \right\} \approx E \left\{ x' x'^T \right\} \quad (2.24)$$

Trong đó giá trị kỳ vọng cho biết mức trung bình theo thời gian hoặc khu vực địa lý. Nền thực sự không xác định, do đó người ta giả định rằng giá trị kỳ vọng được thể hiện tốt bởi nhiễu loạn trạng thái mô hình x' với x' là sự khác biệt giữa các dự báo ngắn hạn, ví dụ:

$$x' = x_{24h}^f - x_{12h}^f \text{ cho các ứng dụng khu vực điển hình, hoặc}$$

$$x' = x_{48h}^f - x_{24h}^f \text{ cho các ứng dụng toàn cầu, có giá trị tại cùng lúc.}$$

Ngoài ra, đối với phương pháp hỗn hợp, $x'_k = x_k - \bar{x}$ (trong đó \bar{x} biểu thị giá trị trung bình với $k = 1, \dots, k$ thành phần hỗn hợp). Cả hai phương pháp đều có thể được sử dụng bởi tiện ích *gen_be* để ước lượng hiệp phương sai lỗi nền.

Đối với phương pháp 3DVAR trong WRFDA, hiệp phương sai lỗi nền được chỉ định không phải trong không gian mô hình x' mà trong biến điều khiển v , và liên quan đến không gian mô hình thông qua biến đổi điều khiển U , tức là:

$$x' = Uv = U_p U_v U_h v \quad (2.25)$$

với $U = U_p U_v U_h$ đại diện cho các giai đoạn khác nhau của mô hình hiệp phương sai: tương quan ngang U_h , hiệp phương sai dọc U_v và hiệp phương sai đa biến U_p . Các thành phần của v được chọn sao cho tương quan chéo sai số của chúng là không đáng kể.

Người dùng có hai lựa chọn chính để xác định hiệp phương sai lỗi nền khi chạy tiện ích *gen_be*, được gọi là CV3 và CV5. Trong CV3, các biến điều khiển nằm trong không gian vật lý trong khi ở CV5, chúng nằm trong không gian bộ điều khiển. Hơn nữa, trong CV3, tệp BE (*be.dat*) được cung cấp cùng với mã nguồn WRFDA, là hiệp phương sai lỗi chung có thể được sử dụng cho bất kỳ miền khu vực nào. Mặt khác, trong CV5, BE là hiệp phương sai phụ thuộc miền, được tạo ra thông qua tiện ích *gen_be* (sử dụng hàm trực giao theo kinh nghiệm để biểu thị hiệp phương sai dọc), dựa trên số liệu dự báo hoặc tổng hợp từ mô phỏng miền.

2.3.2. Hệ thống WRF-3DVAR

Phương pháp đồng hóa 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 function) được quy định bởi hàm số sau:

$$J(x) = J_b(x) + J_0(x) = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(y - y^0)^T (E + F)^{-1}(y - y^0) \quad (2.26)$$

Trong đó: x là véc tơ trạng thái phân tích, x^b là véc tơ trường nền, \mathbf{B} là ma trận tương quan sai số trường nền, y^0 là trường quan trắc, y là véc tơ chuyển đổi từ trạng thái không gian mô hình đến không gian quan trắc, \mathbf{E} và \mathbf{F} tương ứng là ma trận tương quan sai số quan trắc và ma trận tương quan sai số biểu diễn.

Như vậy, bài toán đồng hóa số liệu biến phân 3DVAR có thể nói ngắn gọn là lời giải lặp của phương trình trên để tìm trạng thái được phân tích x sao cho $J(x)$ là nhỏ nhất. Ngoài ra bài toán còn đòi hỏi phải thiết lập được ma trận tương quan sai số trường nền và ma trận tương quan sai số quan trắc.

Sai số đại diện là một ước lượng về độ không chính xác được đưa vào trong toán tử quan trắc \mathbf{H} được sử dụng để biến đổi phép phân tích điểm lưới x thành không gian quan trắc $y = H(x)$ để so sánh với các quan trắc.

Thuật toán 3DVAR áp dụng trong WRFDA là mô hình không gian. Đối với mô hình NWP điển hình với giải pháp trực tiếp $n^2 \approx 10^{12}$ là không khả thi trong khung thời gian cần thiết để đồng hóa số liệu trong các hoạt động dự báo. Một giải pháp thực tế trong vấn đề này là tính $J_b(x)$ theo các biến điều khiển được định nghĩa là $x' = Uv$ trong đó $x' = x - x^b$ là số gia phân tích. Phép biến đổi U cho phép sử dụng các kỹ thuật lọc hiệu quả gần đúng với ma trận hiệp phương sai lỗi nền đầy đủ. Hơn nữa, nếu U được thiết kế tốt, sản phẩm UU^T sẽ khớp chặt chẽ với ma trận hiệp phương sai lỗi nền đầy đủ \mathbf{B} . Chức năng 3DVAR xét theo gia số phân tích có thể được viết lại như sau:

$$J(v) = J_b + J_0 = \frac{1}{2} v^T v + \frac{1}{2} (y^{0'} - HUv)^T (E + F)^{-1} (y^{0'} - HUv) \quad (2.27)$$

trong đó $y^{0'} = y^0 - H(x^b)$ là vectơ mới và \mathbf{H} là tuyến tính hóa của toán tử quan trắc H . Việc tối thiểu hóa hàm gia tăng này được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp gradient tổ hợp tạo ra các bước phân tích x' , được thêm vào dự đoán đầu tiên x^b để cung cấp một phân tích được cập nhật.

2.3.3. Hệ thống WRF-4DVAR

Phương pháp đồng hóa 4DVAR có một số ưu điểm so với phương pháp 3DVAR, cho phép các quan trắc được đồng hóa tại thời điểm quan trắc của chúng hoặc trong một khoảng thời gian cụ thể. Hơn nữa, phương pháp đồng hóa 4DVAR 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. Với những ưu điểm này, 4DVAR đã được đưa vào module đồng hóa của hệ thống WRFDA và thường được sử dụng trong các hệ thống dự báo. Tuy nhiên trong hệ thống WRFDA vẫn có cả 3DVAR. Cách tiếp cận 4DVAR được thiết kế để tìm mức tăng phân tích làm giảm thiểu hàm chi phí quy định được định nghĩa là hàm của mức gia tăng phân tích thay vì chính phân tích.

Hàm của 4DVAR có thể được xem như một cặp lặp lồng nhau: vòng ngoài và vòng trong. Ở vòng ngoài, mô hình độ phân giải cao được chạy và các cập nhật được tính toán theo quỹ đạo có độ phân giải cao. Sau đó, vòng lặp bên trong sử dụng mô hình có độ phân giải thấp hơn đã bị suy giảm với vật lý đơn giản để thực hiện hầu hết các tích hợp được yêu cầu bởi việc tối thiểu hóa hàm gần đúng. Sau đó, cập nhật có độ phân giải thấp hơn được sử dụng để điều chỉnh các điều kiện ban đầu của mô hình có độ phân giải cao, được tích hợp thêm một lần nữa và các cập nhật được tính toán lại theo quỹ đạo cập nhật này. Trong công thức này, mô hình tuyến tính tiếp tuyến và mô hình liên kết được sử dụng để giảm thiểu vòng lặp bên trong, trong khi sự phát triển của lỗi nền được ước tính với mô hình chuyển tiếp đầy đủ. Thiết kế 4DVAR, yêu cầu quyết định bao nhiêu vòng ngoài sẽ được thực hiện và cấu hình của mô hình có độ phân giải thấp hơn được sử dụng trong vòng trong.

Hàm thuật toán của phương pháp WRF 4DVAR có dạng:

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

$$J = J_b + J_0 + J_c$$

trong đó bao gồm các phép tính bậc hai về khoảng cách đến trường nền và trường quan trắc. Thuật ngữ hàm chi phí trường nền J_b là

$$\begin{aligned}
J_b &= \frac{1}{2} (x^n - x^b)^T B^{-1} (x^n - x^b) \\
&= \frac{1}{2} [(x^n - x^{n-1}) + (x^{n-1} - x^b)]^T B^{-1} [(x^n - x^{n-1}) + (x^{n-1} - x^b)] \quad (2.29) \\
&= \frac{1}{2} \left[(x^n - x^{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} (x^i - x^{i-1}) \right]^T B^{-1} \left[(x^n - x^{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} (x^i - x^{i-1}) \right]
\end{aligned}$$

Ma trận hiệp phương sai sai số trường nền \mathbf{B} thường là một ước lượng khí tượng. Tuy nhiên, ma trận này cũng có thể được suy ra từ các ước tính phụ thuộc vào dự báo hoặc dựa trên tổng thể. Nền x^b thường là một dự báo ngắn hạn được tạo ra bởi một phân tích trước đó. Véc tơ x^i biểu thị phân tích không liên tục sau vòng lặp ngoài thứ i với $i = 1, \dots, n$ với n là chỉ số của lần lặp. Phân tích cuối cùng của 4DVAR thu được sau vòng lặp bên ngoài cuối cùng (thứ n) được ký hiệu là x^n hoặc tương đương x^a .

Việc tối thiểu hóa vòng lặp bên trong bắt đầu từ một vectơ dự đoán x^{n-1} là vectơ phân tích từ vòng lặp bên ngoài mới nhất. Trong vòng lặp ngoài đầu tiên, trường nền x^b thường được lấy làm vectơ dự đoán x^0 đầu tiên. Tuy nhiên, các vectơ trường nền và vectơ dự đoán không được trộn lẫn trong công thức tăng dần, vì chúng chỉ giống nhau trong vòng lặp đầu tiên bên ngoài.

Thuật ngữ hàm chi phí quan trắc J_0 trong (2.28), đại diện cho số đo bậc hai của khoảng cách giữa phân tích x^n , thông qua mô hình dự báo M_k và toán tử quan trắc H_k , và các quan trắc y_k :

$$\begin{aligned}
J_0 &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \left\{ H_k [M_k(x^n)] - y_k \right\}^T R^{-1} \left\{ H_k [M_k(x^n)] - y_k \right\} \\
&= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \left\{ H_k [M_k(x^n - x^{n-1} + x^{n-1})] - y_k \right\}^T R^{-1} \left\{ H_k [M_k(x^n - x^{n-1} + x^{n-1})] - y_k \right\} \\
&= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \left[H_k M_k(x^n - x^{n-1}) - d_k \right]^T R^{-1} \left[H_k M_k(x^n - x^{n-1}) - d_k \right] \quad (2.30)
\end{aligned}$$

Ở đây H_k và \mathbf{H}_k lần lượt là các toán tử quan trắc tuyến tính phi tuyến và tiếp tuyến, qua cửa sổ quan trắc k ($k = 1, K$) biến đổi các biến khí quyển từ không gian phân tích lưới sang không gian quan trắc. Ở đây M_k và \mathbf{M}_k là các mô hình tuyến tính phi tuyến và tiếp tuyến, tương ứng, truyền véc tơ dự đoán \mathbf{x}^{n-1} và số gia phân tích $\mathbf{x}^n - \mathbf{x}^{n-1}$ từ cửa sổ thời gian quan trắc thứ nhất đến thứ k . Ở đây d_k là vectơ đổi mới cho cửa sổ quan trắc k :

$$d_k = y_k - H_k \left[M_k \left(x^{n-1} \right) \right] \quad (2.31)$$

và \mathbf{R} là ma trận hiệp phương sai của lỗi quan trắc.

Việc sử dụng các điều kiện ban đầu không cân bằng thường tạo ra dao động với biên độ lớn hơn biên độ quan trắc được trong tự nhiên. Để khắc phục vấn đề này, một bộ lọc kỹ thuật số được bao gồm trong 4DVAR để loại bỏ các biến động lớn này trong phân tích.

Mục đích cơ bản của việc sử dụng bộ lọc kỹ thuật số để khởi tạo là tính toán biến đổi Fourier của các giá trị dự báo nhiều ban đầu trong miền thời gian và sau đó, đặt hệ số của chúng bằng không. Cuối cùng, các giá trị đã lọc có thể thu được bằng cách lấy biến đổi Fourier ngược và sử dụng chúng làm điều kiện ban đầu cho một dự báo mới bắt đầu từ thời điểm 0. Trong 4DVAR, bộ lọc số trong J_c có dạng:

$$\begin{aligned} J_c &= \frac{1}{2} \gamma_{df} \left[M_{N/2}(x^n - x^{n-1}) - \sum_{i=0}^N f_i M_i(x^n - x^{n-1}) \right]^T \mathbf{x} \\ &\quad C^{-1} \left[M_{N/2}(x^n - x^{n-1}) - \sum_{i=0}^N f_i M_i(x^n - x^{n-1}) \right] \\ &= \frac{1}{2} \gamma_{df} \left[\sum_{i=0}^N g_i M_i(x^n - x^{n-1}) \right]^T C^{-1} \left[\sum_{i=0}^N g_i M_i(x^n - x^{n-1}) \right] \end{aligned} \quad (2.32)$$

Ở đây γ_{df} là trọng số được gán cho số hạng J_c , f_i là hệ số cho bộ lọc kỹ thuật số và g_i là hệ số đã sửa đổi với

$$g_i = \begin{cases} -f_i & i \neq N/2 \\ 1-f_i & i = N/2 \end{cases}$$

Ngoài ra, N là tổng số các bước tích hợp trên cửa sổ đồng hóa. Hơn nữa, df là trọng số được gán cho số hạng J_c và C là một ma trận đường chéo chứa các phương sai của các trường gió, nhiệt độ và áp suất bề mặt khô có các giá trị mặc định (3m/s), (1K) và (10hPa), tương ứng.

Như được định nghĩa trong (2.28), hàm 4DVAR đầy đủ được cấu tạo dưới dạng tổng của J_b , J_o và J_c . Để tránh tính toán trường nền đầy đủ J_b và tăng tốc thuật toán tối thiểu hóa, phương pháp đã xác định một biến đổi điều khiển (tương tự như trường hợp 3DVAR gia tăng)

$$v^n = U^{-1}(x^n - x^{n-1}) \quad (2.33)$$

trong đó U được định nghĩa là $B = UU^T$. Áp dụng phép biến đổi này cho hàm chi phí 4DVAR thu được gradient $J'(v^n) = \nabla J(v^n)$ đối với biến điều khiển v^n .

Theo lý thuyết, trạng thái phân tích nhận được khi hàm chi phí (2.28) được tối thiểu hóa, hoặc tương đương, khi gradient bằng không. Hàm giảm thiểu chi phí được thực hiện bằng phương pháp Conjugate Gradient, việc tối thiểu hóa diễn ra trong vòng lặp bên trong của thuật toán 4DVAR.

Với trạng thái mô hình nền x^b , các điều kiện biên WRFBDY hợp lệ trong cửa sổ thời gian phân tích, ma trận hiệp phương sai trường nền và sai số quan trắc tương ứng B và R , cũng như các quan trắc được nhóm thành cửa sổ thời gian K , 4DVAR sẽ tạo ra giá trị phân tích cuối cùng x^n .

2.4. Áp dụng kỹ thuật 4DVAR để đồng hóa số liệu vệ tinh MODIS

WRFDA được sử dụng để đưa các quan trắc vào các phân tích nội suy được tạo bởi WPS. Số liệu quan trắc thông thường và số liệu quan trắc vệ tinh có thể được cung cấp ở định dạng văn bản ASCII hoặc định dạng PREPBUFR làm số liệu đầu vào cho module WRFDA.

Độ dày quang học (OD - Optical Depth) là thước đo sự truyền xạ (transmittance) của một cột không khí theo chiều thẳng đứng trên đơn vị diện tích mặt cắt ngang. Độ truyền xạ quan hệ ngược với OD của khí quyển. OD lớn nghĩa là truyền xạ qua khí quyển ít. Độ truyền xạ của khí quyển có giá trị từ 0 đến 1, trong đó 0 tương ứng với một không khí hoàn toàn mờ đục và 1 tương ứng với một bầu không khí hoàn toàn trong suốt. OD là kết quả của hiệu ứng kết hợp của sự tán xạ và hấp thụ theo chiều thẳng đứng, gây ra chủ yếu bởi các sol khí và phân tử không khí. OD chỉ do các sol khí tạo ra được gọi là AOD hoặc AOT.

Mục đích của Luận án này là nghiên cứu đồng hóa số liệu vệ tinh cho hệ thống mô hình chất lượng không khí đa qui mô (CMAQ), vì vậy, sản phẩm độ dày quang học AOD được chiết suất từ số liệu vệ tinh MODIS Terra và Aqua đã sử dụng.

2.4.1. Số liệu vệ tinh MODIS

Bộ cảm biến MODIS đang hoạt động trên vệ tinh Terra và Aqua có chiều rộng tầm quan trắc 2.330 km và quan trắc hết toàn bộ bề mặt Trái đất cứ sau 1-2 ngày. Các bộ cảm biến này thu được 36 dải quang phổ trong khoảng từ 0,405 μ m đến 14,385 μ m, trải dài từ dải sóng nhìn thấy đến hồng ngoại, sóng dài tạo khả năng ứng dụng của ảnh MODIS trong vùng phổ hồng ngoại sóng ngắn, hồng ngoại sóng trung và hồng ngoại sóng dài, ví dụ như quan trắc nhiệt độ của bề mặt trái đất, nhiệt độ của bề mặt mây, các quá trình xảy ra trên đất liền, trong đại dương và trong bầu khí quyển, thu được số liệu ở ba độ phân giải không gian: 250m, 500m và 1.000m.

Về mặt hình học, ảnh MODIS có thể cho ảnh có độ phân giải cao (250 m) với hai kênh đầu ở dải sóng nhìn thấy, còn lại 5 kênh tiếp theo có độ phân giải 500 m và 29 kênh tiếp theo với độ phân giải 1000 m. Trường nhìn của ảnh MODIS là $\pm 49.5^\circ$, góc nhìn rộng của ảnh MODIS tạo sự khác biệt giữa độ phân giải của các điểm ảnh tại rìa dải quét với điểm ở vị trí đáy ảnh là khoảng 3 lần và là ưu việt so với một số loại ảnh khác.

Với việc sử dụng kênh hồng ngoại nhiệt cho phép ảnh MODIS có khả năng quan trắc bề mặt trái đất cả ban ngày cũng như đêm, cùng với độ rộng dải quét lớn hơn đáng kể (2330 km) so với ảnh khác và hai máy chụp ảnh lắp đặt trên vệ tinh TERRA và AQUA, khả năng chụp lặp của ảnh MODIS là tốt hơn rất nhiều (1 đến 2 ngày). Với việc chụp ảnh vào hai thời điểm trong ngày (10 giờ 30 phút với vệ tinh TERRA và 13 giờ 30 phút với vệ tinh AQUA) ảnh MODIS có thể quan trắc các thông số môi trường trái đất vào các thời điểm khác nhau trong ngày cũng như đêm. Ảnh MODIS với sản phẩm AOD quan trắc độ dày quang học, sự phân bố kích thước của sol khí môi trường xung quanh trên đại dương và lục địa cho phép tải tự do trên website của NASA. Hơn nữa, sản phẩm AOD của MODIS đã được nghiên cứu, kiểm chứng phù hợp bởi nhiều nghiên cứu trên thế giới, do đó nghiên cứu sinh đã lựa chọn sản phẩm AOD của MODIS để sử dụng trong nghiên cứu này.

Các sản phẩm số liệu thu được từ các cảm biến MODIS mô tả các đặc điểm của đất đai, đại dương và bầu khí quyển có thể được sử dụng để nghiên cứu các quá trình và xu hướng trên quy mô địa phương đến toàn cầu.

Các sản phẩm tiêu chuẩn MODIS bao gồm Aerosol (MOD04/MYD04), Hơi nước (MOD/MYD05), Đám mây (MOD/MYD06), Hồ sơ khí quyển (MOD/MYD07), Mặt nạ đám mây (MOD/MYD35), Khí quyển chung (ATML2) và Cấp 3 (MOD/MYD08). Sản phẩm Aerosol có độ phân giải 3 km của MODIS giám sát các đặc tính quang học của môi trường xung quanh (ví dụ: phân bố kích thước và độ dày quang học), nồng độ khối lượng, thông lượng

phản xạ và truyền dẫn từ bảng tra cứu, cũng như đảm bảo chất lượng và các thông số phụ trợ khác, trên toàn cầu.

Các sản phẩm trước đó, chỉ có một sản phẩm Aerosol (MOD04_L2), ở độ phân giải 10 km, vì mục đích ban đầu là nghiên cứu khí hậu và độ phân giải 10 km hoạt động tốt cho các phân tích toàn cầu. Tuy nhiên, cộng đồng các nhà khoa học nghiên cứu chất lượng không khí đã yêu cầu số liệu độ phân giải cao hơn để giúp giải quyết chất lượng không khí của khu vực đô thị và khu vực lân cận. Do đó, thuật toán aerosol Dark Target (DT) đã được sử dụng để tạo ra một sản phẩm aerosol với độ phân giải 3 km mới (MOD04_3K và MYD04_3K) và đây là sản phẩm của MODIS được quan tâm trong nghiên cứu này.

Sản phẩm số liệu MOD04_3K - MODIS/Terra Aerosol 5-Min L2 Swath 3km và MYD04_3K - MODIS/Aqua Aerosol 5-Min L2 Swath 3km được tải xuống từ trang web <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/> với định dạng HDF (Hierarchical Data Format - Định dạng số liệu phân cấp). Đây là một mô hình số liệu, định dạng tệp và thư viện Input/Output (I/O) được thiết kế để lưu trữ, trao đổi, quản lý và lưu trữ số liệu phức tạp bao gồm số liệu khoa học, kỹ thuật và viễn thám.

Để tối đa hóa phạm vi quan trắc trong cửa sổ thời gian đồng hóa số liệu 6 giờ, sản phẩm truy xuất AOD trên đất liền và trên biển thu được từ “mục tiêu tối” (dark target) và “xanh lam đậm” (deep blue) trên bề mặt đất đã được sử dụng. Số liệu MODIS lấy AOD được cung cấp ở bảy bước sóng: 470, 550, 660, 870, 1240, 1630 và 2130 nm, tuy nhiên, chỉ có AOD ở bước sóng 550 nm được đồng hóa trong nghiên cứu này.

Như đã trình bày ở trên, số liệu quan trắc thông thường và số liệu quan trắc vệ tinh có thể được cung cấp ở định dạng văn bản ASCII (định dạng LITTLE_R) hoặc định dạng PREPBUFR làm số liệu đầu vào cho module WRFDA, do vậy để thực hiện đồng hóa số liệu MODIS cho mô hình WRF, số liệu vệ tinh cần được chuyển đổi về định dạng LITTLE_R.

LITTLE_R là định dạng tệp quan trắc dựa trên ASCII và vì các tệp số liệu quan trắc thô có nhiều định dạng có thể có (chẳng hạn như ASCII, BUFR, PREPBUFR, MADIS và HDF) nên LITTLE_R được thiết kế để trở thành một định dạng trung gian để WRFDA có thể đồng hóa nhiều loại quan trắc nhất có thể theo cách phổ biến. LITTLE_R là một định dạng tệp dựa trên báo cáo, vì vậy tất cả các kiểu quan trắc có thể dễ dàng được “ghép nối” với nhau thành một tệp văn bản dễ đọc và chỉnh sửa.

Người dùng có trách nhiệm phát triển một tiện ích chuyển đổi các quan trắc của riêng họ sang định dạng LITTLE_R để OBSPROC có thể đọc chúng. UCAR không hỗ trợ bất kỳ công cụ nào để thực hiện việc chuyển đổi này.

Tệp LITTLE_R bao gồm các báo cáo, các báo cáo này bao gồm các bản ghi: tiêu đề (chi tiết số liệu cụ thể được báo cáo bởi loại quan trắc này), số liệu chính (được tổ chức theo cách được chỉ định bởi các giá trị tiêu đề) và ba số nguyên đuôi. Các bản ghi này bao gồm các trường: các trường này chứa các định nghĩa cho số liệu được chỉ ra bởi loại quan trắc này (trong bản ghi tiêu đề) và các phần số liệu riêng lẻ cho mỗi quan trắc (trong bản ghi số liệu). Format của tệp này được miêu tả chi tiết tại: <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrfda/OnlineTutorial/Help/litler.html>

2.4.2. Đồng hóa số liệu AOD từ số liệu vệ tinh MODIS

Các số liệu quan trắc là một trong những tệp đầu vào quan trọng cho WRFDA, không có số liệu quan trắc sẽ không có đồng hóa số liệu.

Số liệu quan trắc tại các điểm quan trắc mặt đất và số liệu từ vệ tinh đều có thể được sử dụng trong quá trình đồng hóa, tuy nhiên với mục đích của nghiên cứu này, chỉ xem xét đồng hóa nguồn số liệu AOD 550 được chiết suất từ dữ liệu MODIS trên vệ tinh Terra và Aqua cho mô hình. Số liệu tại các trạm quan trắc trên địa bàn Hà Nội được sử dụng cho mục đích đối sánh với kết quả ước tính từ mô hình.

MODIS sử dụng cờ chất lượng để mô tả độ chính xác của các truy xuất AOD. Các cờ chất lượng nằm trong khoảng từ 3 (độ tin cậy cao) đến 0 (độ tin cậy thấp hoặc không có) dựa trên chất lượng và số lượng pixel được sử dụng trong các thuật toán AOD, sản phẩm được đánh dấu bằng cờ chất lượng 2 hoặc 3 mới được sử dụng để đồng hóa. Độ tin cậy thấp hơn có liên quan đến các yếu tố như khả năng nhiễm bẩn của đám mây hoặc sự không đồng nhất của môi trường. Bất kỳ truy xuất số liệu nào trong khoảng thời gian +/- 6 giờ xung quanh thời gian bắt đầu dự báo với cờ chất lượng 2 hoặc 3 đều được sử dụng.

Số liệu AOD từ dữ liệu vệ tinh MODIS trước khi được đưa vào quá trình đồng hóa cần được xử lý: 1) phân chia thành các lớp theo độ cao các lớp khí tượng của mô hình, giải quyết dạng số liệu AOD là dạng tổng cột; 2) chia tỷ lệ độ sáng quang học, giải quyết vấn đề biên độ thay đổi của số liệu AOD phù hợp với từng địa phương.

Để giải quyết các vấn đề trên và thực hiện việc chuyển đổi định dạng số liệu về định dạng LITTLE_R, một phần mềm trên nền Python 3.7 đã được xây dựng với các mục đích: loại bỏ các số liệu AOD không nằm trong miền mô phỏng, gán cờ chất lượng cho số liệu đạt tiêu chuẩn, đồng nhất về thuộc tính của số liệu và chuyển đổi sang định dạng LITTLE_R làm số liệu đầu vào cho module WRFDA. Số liệu AOD từ số liệu vệ tinh được quy định mã FM-86 (SATEM) trong format của tệp LITTLE_R. Sau khi thực hiện chuyển đổi, các số liệu AOD từ vệ tinh MODIS được thể hiện dưới dạng LITTLE_R như sau:

```

TOTAL = 7536, MISS. =-888888.,
SYNOP = 0, METAR = 0, SHIP = 0, BUOY = 0, BOGUS = 0, TEMP = 0,
AMDAR = 0, AIREP = 0, TAMDAR= 0, PILOT = 0, SATEM = 7536, SATOB = 0,
GPSFW = 0, GPSZD = 0, GPSRF = 0, GPSEP = 0, SSMT1 = 0, SSMT2 = 0,
TOVS = 0, QSCAT = 0, PROFL = 0, AIRSR = 0, OTHER = 0,
PHIC = 20.92, XLONC = 105.00, TRUE1 = 19.82, TRUE2 = 20.23, XIM11 = 9.00, XJM11 = 25.00,
base_temp= 290.00, base_lapse= 50.00, PTOF = 1000., base_pres=100000., base_tropo_pres= 20000., base_strat_temp=
215.,
IXC = 46, JXC = 59, IPROJ = 1, IDD = 2, MAXNES= 2,
NESTIX= 46, 30,
NESTJX= 59, 27,
NUMC = 1, 1,
DIS = 9.00, 9.00,
NESTI = 7, 9,
NESTJ = 7, 25,
INFO = PLATFORM, DATE, NAME, LEVELS, LATITUDE, LONGITUDE, ELEVATION, ID.
SRFC = SLP, FW (DATA,QC,ERROR).
EACH = PRES, SPEED, DIR, HEIGHT, TEMP, DEW PT, HUMID (DATA,QC,ERROR)*LEVELS.
INFO_FMT = (A12,1X,A19,1X,A40,1X,I6,3(F12.3,11X),EX,A40)
SRFC_FMT = (F12.3,I4,F7.2,F12.3,I4,F7.3)
EACH_FMT = (3(F12.3,I4,F7.2),11X,3(F12.3,I4,F7.2),11X,3(F12.3,I4,F7.2))
#-----#
FM-86 SATEM 2015-01-14 02:40:08 15 23.000 107.927
-888888.000 US unknown ### <20713> instrument not sp
100000.000 0 200.00 -888888.000 -88 10.000
85000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
70000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
50000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
40000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
30000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
25000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
20000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
15000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
10000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
7000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
5000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
3000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00
2000.000 0 200.00 -888888.000 -88 2.50 -888888.000 -88 32.00 -888888.000 -5 12.50 -888888.000 -88
12.50 -888888.000 -11 3.50 0.610 3.0 1.00

```

Hình 2.3: Định dạng *LITTLE_R* của số liệu AOD từ vệ tinh MODIS.

Chương trình OBSPROC (*obsproc.exe*) trong module WRFDA đọc các quan trắc thông thường và số liệu vệ tinh ở định dạng *LITTLE_R*. Mục đích của OBSPROC là:

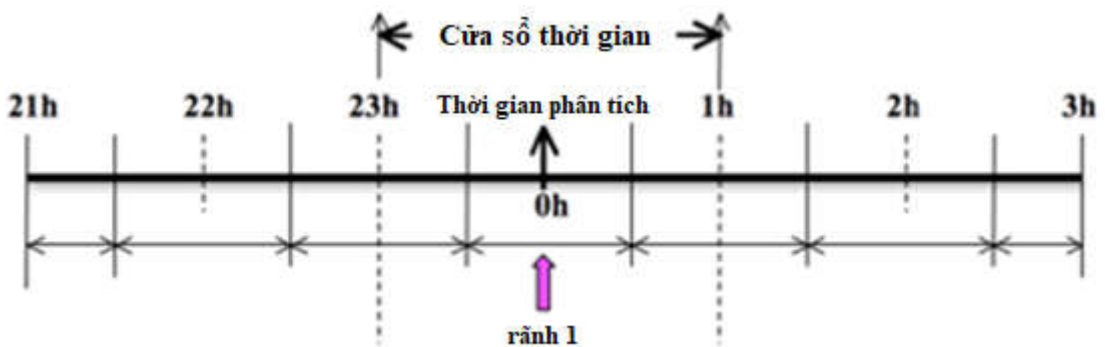
- Sàng lọc các quan trắc thông thường (cửa sổ thời gian, miền, sao chép) và giữ thông tin cần thiết cho quá trình đồng hóa WRFDA, xóa bỏ các quan trắc bên ngoài của miền không gian mô phỏng (domain) và thời gian được người sử dụng chỉ định cho mô phỏng;

- Gán lỗi quan trắc cho mỗi quan trắc, thực hiện kiểm soát chất lượng cơ bản (kiểm tra tổng thể và kiểm tra nhất quán);

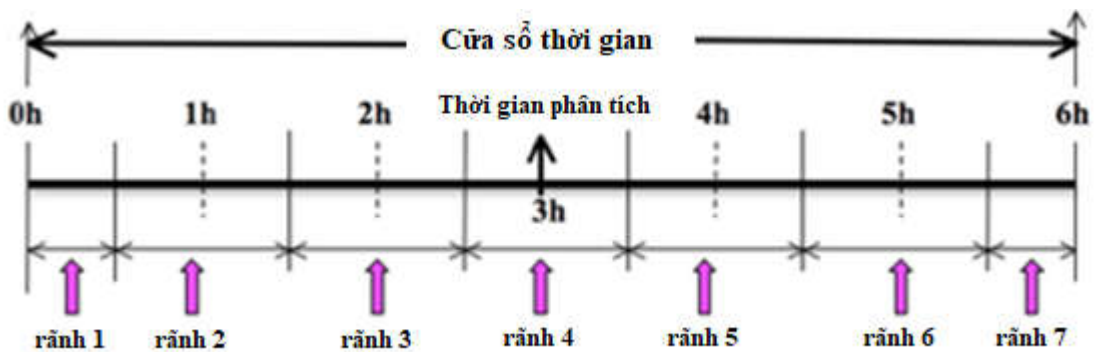
- Sắp xếp và hợp nhất các báo cáo có số liệu trùng lặp theo thời gian và không gian;

- Lấy áp suất hoặc chiều cao dựa trên thông tin quan trắc được bằng giá định thủy tĩnh và đưa vào xử lý;
- Kiểm tra các quan trắc đa cấp về các điều kiện nhất quán theo chiều dọc;
- Chỉ định lỗi quan trắc dựa trên tệp lỗi được chỉ định trước.
- Lưu tệp OBS đã xử lý, tệp này có thể được sử dụng lặp lại cho nhiều lần thử nghiệm WRFDA ở định dạng ASCII hoặc BUFR.

Để chuẩn bị số liệu quan trắc tại thời điểm phân tích, tất cả các quan trắc trong phạm vi ± 1 h sẽ được xử lý, có nghĩa là các số liệu quan trắc trong khoảng từ trước thời điểm phân tích 01 giờ đến sau thời điểm phân tích 01 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.

Khi thực hiện đồng hóa nhiều nguồn số liệu quan trắc, các nguồn này đều được chuyển đổi sang định dạng LITTLE_R và được nối vào một tệp, xử lý số liệu quan trắc và xuất tệp ASCII phù hợp với nhu cầu WRFDA - 3DVAR hoặc 4DVAR. Số liệu vệ tinh AOD cũng nằm trong các loại số liệu này, chúng là số liệu dạng tổng cột trong khí tượng và quan trọng nhất là chúng được xử lý theo các lớp khí quyển đã được người mô phỏng quy định từ bước đầu tiên của quá trình mô phỏng trong tệp *namelist.wps*.

Tệp đầu ra từ bộ tiền xử lý quan trắc, chương trình OBSPROC vẫn là tệp ASCII, dễ dàng được thao tác cho các mục đích nghiên cứu cụ thể, chẳng hạn như kiểm tra số liệu điểm đơn.

Bước cuối cùng trong hệ thống đồng hóa số liệu của mô hình WRF là module WRFDA (*da_wrfvar.exe*). Để chạy WRFDA 4DVAR, trước tiên hãy tạo một thư mục làm việc, biến môi trường và ngày phân tích, chỉnh sửa các biến *namelist.input* (*namelist.input.4dvar*) để phù hợp với mô phỏng, cần thiết, liên kết các tệp tùy chọn WRFDA 4DVAR có khả năng xem xét các điều kiện biên như các biến kiểm soát cũng như trong quá trình tối thiểu hóa. Biến *namelist var4d_lbc* phải được bật là *true*. Để kích hoạt tùy chọn này, WRFDA 4DVAR không chỉ cần đoán đầu tiên ở đầu cửa sổ thời gian, mà còn là lần đoán đầu tiên ở cuối cửa sổ thời gian.

Các biến *namelist* quan trọng nhất liên quan đến 4DVAR được liệt kê dưới đây. Lưu ý trong cài đặt thông tin thời gian, quy tắc là: *analy_date*, *time_window_min* và *start_xxx* trong *&time_control* phải luôn bằng nhau; *time_window_max* và *end_xxx* phải luôn bằng nhau; và *run_hours* là sự khác biệt giữa *start_xxx* và *end_xxx*, là độ dài của cửa sổ thời gian 4DVAR.

Quá trình mô phỏng đọc các biến cần thiết đã được đặt trong *namelist.input* làm các thông số đầu vào và điều kiện để truy xuất đầu ra của mô phỏng. Các bước của quá trình mô phỏng thực nghiệm của nghiên cứu này được trình bày chi tiết ở chương sau.

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).

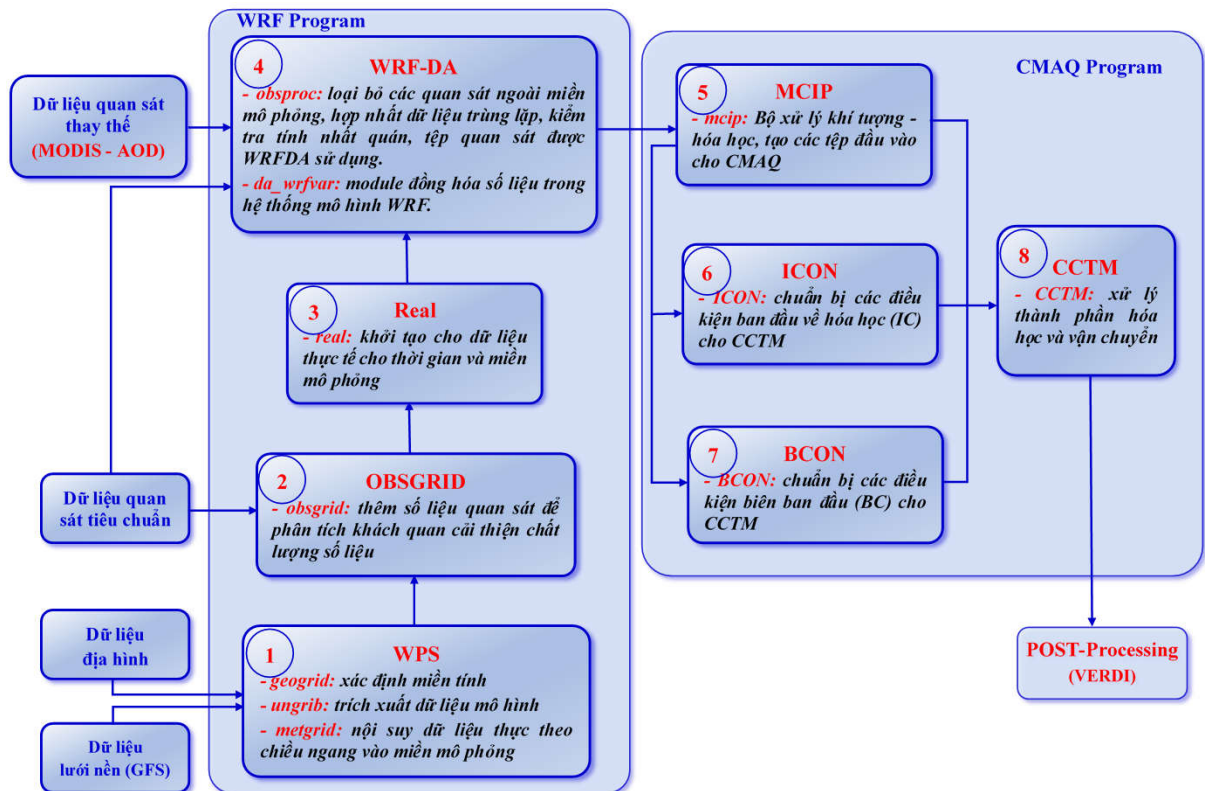
Sản phẩm Aerosol có độ phân giải 3×3 (km) của MODIS được đồng hóa thông qua module WRFDA sau khi được phân chia các lớp theo độ cao của lớp khí tượng và giải quyết vấn đề biên độ thay đổi của số liệu phù hợp với từng địa phương, sàng lọc các quan trắc, xóa bỏ các quan trắc bên ngoài của miền không gian 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. Mô tả các bước của quá trình thực nghiệm

Để tiến hành mô phỏng thực nghiệm hệ thống mô hình WRF-CMAQ cùng các thư viện đã được cài đặt trên hệ điều hành Ubuntu 16.04, kết quả cài đặt là các thư viện và thư mục làm việc của hệ thống mô hình WRF-CMAQ.

Sau khi thực hiện nghiên cứu hệ thống mô hình Nghiên cứu và Dự báo thời tiết WRF và mô hình chất lượng không khí đa quy mô CMAQ, nghiên cứu này đã xây dựng được quy trình tiến hành các bước thực nghiệm với mục đích đồng hóa số liệu AOD từ vệ tinh MODIS cho mô hình chất lượng không khí CMAQ, cụ thể được thể hiện trong *Hình 3.1*.



Hình 3.1: Sơ đồ các bước thực hiện mô phỏng thực nghiệm

Cụ thể quá trình bao gồm:

- **Bước 1:** thực hiện module WPS để tạo miền mô phỏng, đưa các dữ liệu địa hình, dữ liệu khí tượng từ dữ liệu lưới nền toàn cầu, tính toán downscale và nội suy các dữ liệu về miền mô phỏng.

- **Bước 2:** thực hiện module OBSGRID để đưa thêm các số liệu quan sát “Upper-air” và “Surface” về nhiệt độ, độ ẩm và gió được cung cấp bởi Trung tâm Quốc gia về Dự báo Môi trường (NCEP) kết hợp cùng số liệu nền vào phân tích, loại bỏ các sai số thô, đánh dấu cờ chất lượng số liệu theo yêu cầu của mô hình.

- **Bước 3:** thực hiện module khởi tạo số liệu thực phù hợp với thời gian và không gian của miền mô phỏng.

- **Bước 4:** thực hiện module *da_wrfvar* để đồng hóa số liệu AOD được trích xuất từ số liệu vệ tinh MODIS cho miền mô phỏng trên nền các số liệu đã được xử lý ở bước trước. Trong bước này các số liệu nằm ngoài miền mô phỏng sẽ được loại bỏ, hợp nhất số liệu trùng lặp, kiểm tra tính nhất quán của số liệu nhằm cải thiện chất lượng số liệu đầu vào cho mô phỏng.

- **Bước 5:** thực hiện module MCIP nhằm xử lý bộ số liệu khí tượng - hóa học từ kết quả của mô hình WRF, chuyển đổi sang định dạng quy định cho mô hình CMAQ.

- **Bước 6:** thực hiện module ICON để khởi tạo các điều kiện ban đầu của miền mô phỏng và thời gian mô phỏng từ các số liệu là kết quả của mô hình WRF.

- **Bước 7:** thực hiện module BCON để khởi tạo các điều kiện biên của miền mô phỏng và thời gian mô phỏng từ các số liệu là kết quả của mô hình WRF.

- **Bước 8:** thực hiện module CCTM (CMAQ Chemistry Transport Model), đây là bước cuối cùng của hệ thống mô hình WRF-CMAQ nhằm kết hợp số liệu từ các bước trước và số liệu phát thải (trong khuôn khổ của luận án,

nghiên cứu này sử dụng số liệu phát thải toàn cầu được cung cấp bởi Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) về thông số kỹ thuật của các nguồn ô nhiễm không khí và khí hữu cơ dễ bay hơi) để tính toán phản ứng hóa học, sự vận chuyển các chất trong khí quyển tạo, ước tính nồng độ của các chất gây ô nhiễm không khí.

Trước khi tiến hành thực nghiệm, nghiên cứu đã xem xét, thu thập các nguồn số liệu, điều kiện thực nghiệm và xác định một số điều kiện về khu vực, thời gian, nguồn số liệu sử dụng, cụ thể như sau:

Khu vực thực nghiệm mô phỏng:

Do điều kiện về trang thiết bị không đủ mạnh để thực hiện mô phỏng trên miền rộng (cả khu vực Việt Nam) nên nghiên cứu chọn khu vực Hà Nội, đây cũng là một trong một số khu vực của Việt Nam có tình trạng ô nhiễm không khí tương đối cao và đặc trưng trong những năm qua.

Khu vực tiến hành thực nghiệm mô phỏng được xác định với khu vực chính (miền nest) là toàn bộ địa giới Hà Nội bao phủ ngoài biên và để đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của miền tính (domain và nest), miền domain được xác định dựa trên cơ sở của miền nest (khu vực chính - bao phủ toàn địa giới Hà Nội). Vị trí và kích thước của các miền tính được xác định với các thông số như sau:

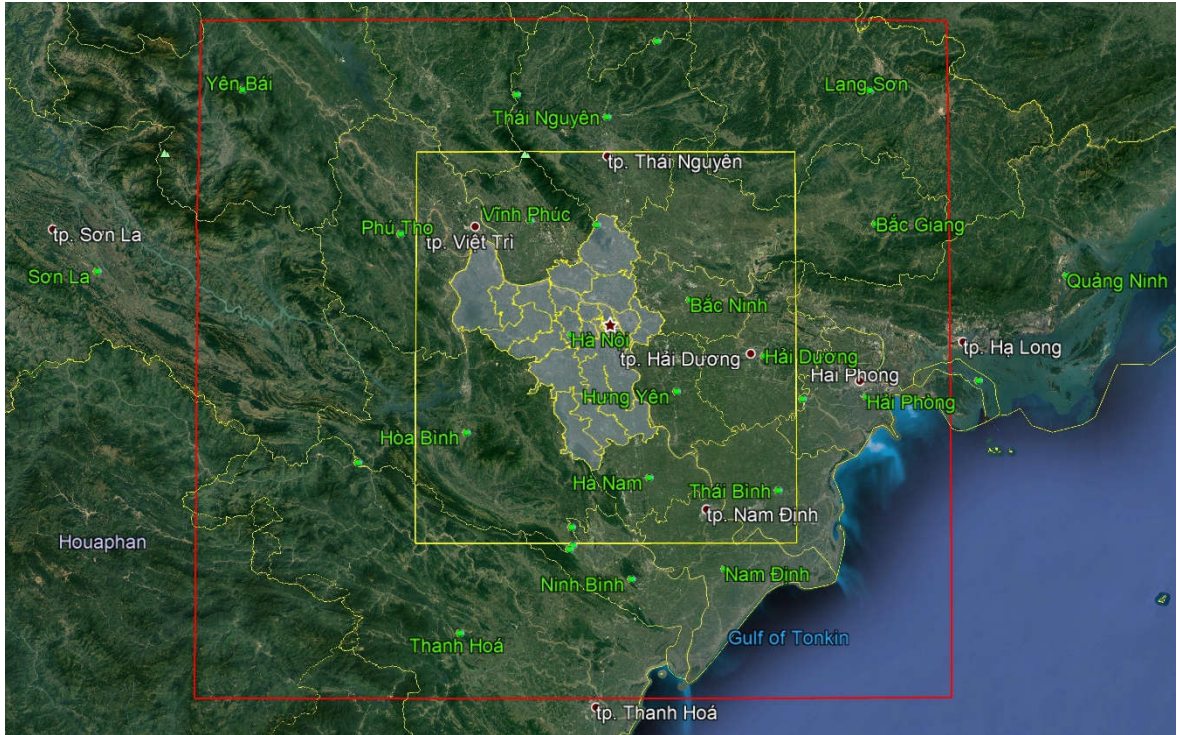
+ Vị trí: Tọa độ góc dưới, bên trái của domain: $19,83^\circ$ và $104,42^\circ$;

Tọa độ góc trên, bên phải của domain: $22,00^\circ$ và $107,00^\circ$;

Tọa độ góc dưới, bên trái của nest: $20,33^\circ$ và $105,10^\circ$;

Tọa độ góc dưới, bên trái của nest: $21,58^\circ$ và $106,67^\circ$;

+ Kích thước: Kích thước của miền tính được tuân thủ theo quy định với tỷ lệ là 1:3, có nghĩa là 01 ô lưới của domain có kích thước bằng 09 ô lưới của nest, do vậy domain có kích thước 30 x 27 ô lưới, mỗi ô lưới có kích thước 9 km x 9 km; miền nest có kích thước 52 x 46 ô lưới, mỗi ô lưới có kích thước 3 km x 3 km.



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

Thời gian tiến hành mô phỏng:

Số liệu quan trắc tại các trạm quan trắc mà nghiên cứu sinh thu thập được là số liệu của các năm 2015, 2017 (tại trạm Nguyễn Văn Cừ), từ 05/2017 đến 12/2017 và 2019 (tại trạm Trung Yên 3 và trạm Minh Khai, tháng 5/2017 các trạm này mới được đưa vào hoạt động) với tần xuất trung bình giờ của các yếu tố bao gồm: nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, hướng gió, áp suất, bức xạ, nồng độ PM_{10} , $PM_{2.5}$.

Khu vực được chọn cho mô phỏng là Hà Nội, thuộc miền Bắc Việt Nam (từ đèo Hải Vân trở ra) mang đặc điểm của khí hậu nhiệt đới gió mùa với 4 mùa rõ rệt (Xuân - Hạ - Thu - Đông), cụ thể đặc điểm khí hậu của 4 mùa như sau:

- Mùa Xuân (từ tháng 2 đến tháng 4): nhiệt độ trung bình khoảng $15^{\circ}C$, gió nồm và mưa phùn ẩm ướt khiến không khí bão hòa hơi nước.
- Mùa Hè (từ tháng 5 đến tháng 7): nền nhiệt lên cao hơn, thời tiết trở nên nóng hơn, khô ráo.

- Mùa Thu (từ tháng 8 đến tháng 10): nền nhiệt độ ổn định, nắng nhẹ, thỉnh thoảng có mưa rào, hình thái phổ biến là tạnh ráo kéo dài.

- Mùa Đông (từ tháng 11 đến tháng 2 năm sau): nhiệt độ vào tháng 11 và 12 có thể xuống thấp tới 9°C, có độ ẩm cao.

Nói chung, khí hậu của khu vực mô phỏng có thể được chia làm hai mùa chính: mùa khô (từ tháng 5 tới tháng 10) và mùa mưa (từ tháng 11 tới tháng 4 năm sau). Việc chia làm hai mùa ở đây có tính chất tương đối, căn cứ vào thực trạng ô nhiễm không khí các năm vừa qua cho thấy: nồng độ bụi PM_{2.5} từ tháng 5 đến tháng 10 (mùa khô: nền nhiệt cao, độ ẩm thấp, tốc độ gió thường lớn, có mưa rào, bão - điều kiện tốt để các chất ô nhiễm thoát lên tầng trên của khí quyển) thường thấp hơn so với nồng độ bụi PM_{2.5} từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau (mùa mưa: nền nhiệt thấp, độ ẩm cao, tốc độ gió thấp, mưa phùn, nhỏ - các chất ô nhiễm không có điều kiện thoát lên tầng trên của khí quyển)

Căn cứ vào điều kiện khí hậu, thời tiết của miền mô phỏng và kết quả tổng hợp số liệu quan trắc được cung cấp từ Trung tâm Quan trắc Môi trường, Tổng Cục Môi trường và Chi Cục Bảo vệ môi trường, Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, thời gian cho mô phỏng trong khoảng thời gian của hai mùa, đây cũng là khoảng thời gian có điều kiện thời tiết ổn định, số liệu AOD từ vệ tinh không chịu ảnh hưởng của các đám mây đã được lựa chọn, cụ thể như sau:

+ 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.

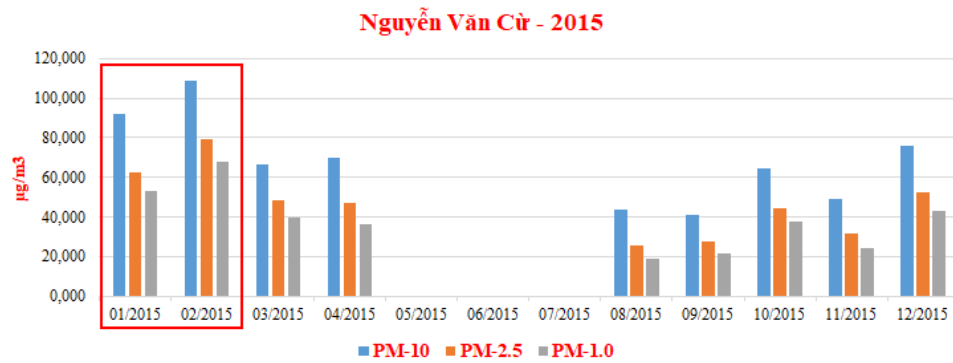
+ Mùa khô:

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;

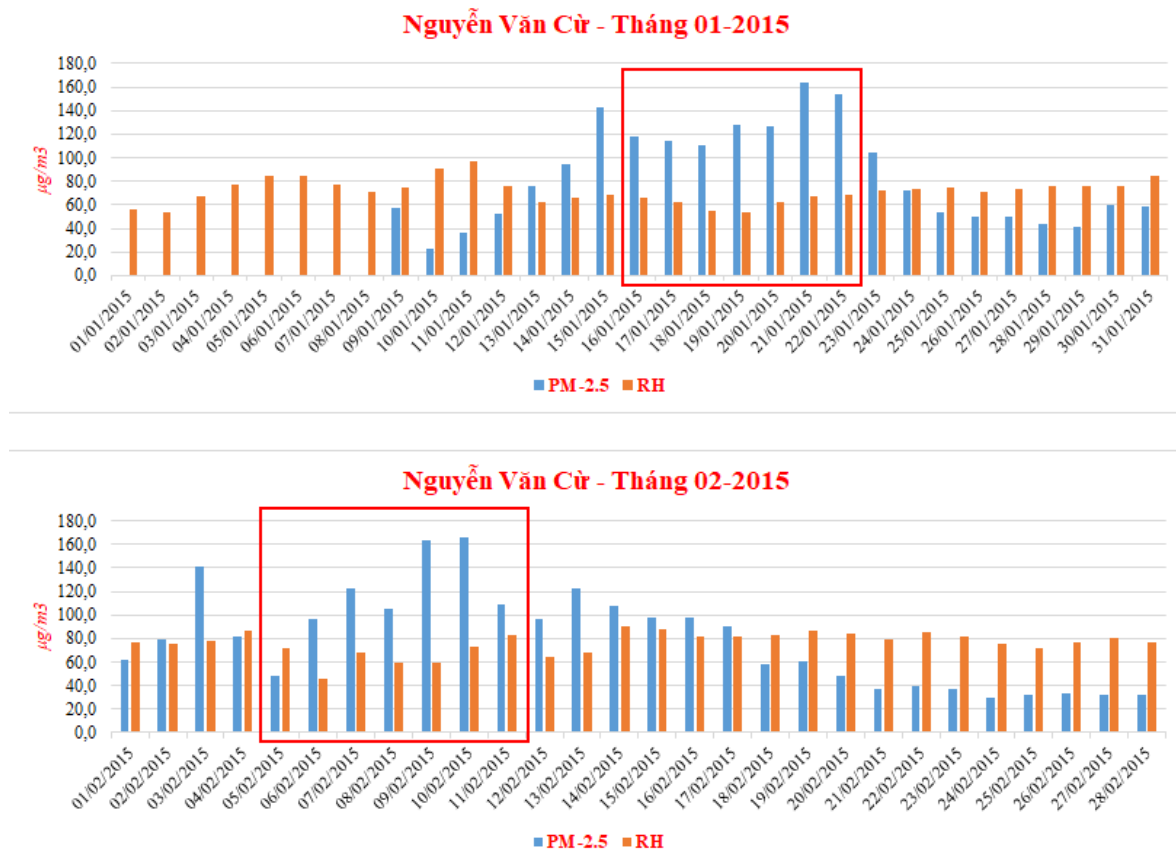
Từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019.

Đối với năm 2015: Tại thời điểm 2015, ở Hà Nội và các vùng lân cận mới chỉ có duy nhất 01 trạm quan trắc đặt tại Nguyễn Văn Cừ, Gia Lâm do Trung tâm Quan trắc Môi trường, Tổng Cục Môi trường quản lý, thu nhận các thông số về chất lượng không khí. Thiết bị của trạm này hoạt động cũng không ổn định, số liệu thu nhận được thường có lỗi hoặc mất tín hiệu trong một khoảng thời gian (Hình 3.3), theo đó, tháng 01 và tháng 02 có nồng độ bụi là cao nhất trong năm.



Hình 3.3: Tổng hợp số liệu quan trắc tại trạm Nguyễn Văn Cừ năm 2015

Trong đó khoảng thời gian từ 16/01 đến 23/01 có sự tương đối ổn định về nồng độ $PM_{2.5}$ và từ 05/02 đến 12/02 có sự biến động tương đối lớn về nồng độ $PM_{2.5}$ (Hình 3.4), đây là lý do hai khoảng thời gian này được chọn để tiến hành mô phỏng cho quá trình thực nghiệm.



Hình 3.4: Số liệu $PM_{2.5}$ tháng 01, 02/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ

Đối với năm 2017 và 2019: Đến khoảng thời gian này Hà Nội đã được xây dựng thêm các trạm quan trắc cố định tại Trung Yên và Minh Khai, số liệu tổng hợp của các trạm quan trắc này được thể hiện trong Hình 3.5. Đến năm 2017, trạm quan trắc tại Nguyễn Văn Cừ vẫn đang được vận hành nên nghiên cứu này đã sử dụng 02 nguồn số liệu quan trắc này cho năm 2017. Đối với năm 2019: Chi Cục Bảo vệ môi trường, Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội đã tạo điều kiện cung cấp số liệu quan trắc năm 2017, 2019 vì vậy thời điểm năm 2019 đã được lựa chọn để tiến hành thực nghiệm mô phỏng.

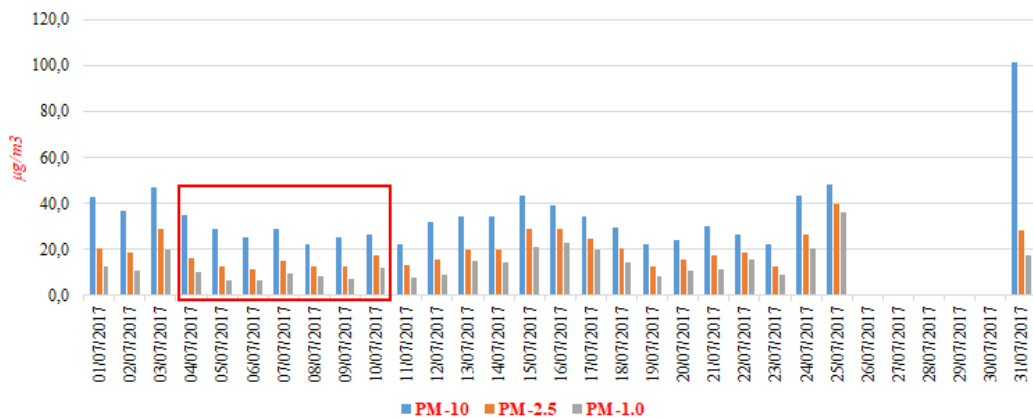
Sau khi xem xét các số liệu đã thu thập được trong năm 2015 và 2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ, nghiên cứu sinh đã nhận thấy có những khoảng thời gian không có số liệu quan trắc về nồng độ bụi $PM_{2.5}$ (ví dụ: đầu tháng 01/2015; vài ngày cuối tháng 3/2015; từ 14/4 đến 31/7/2015; một số ngày tháng 02/2017;

cuối tháng 7/2017, đầu tháng 8/2017). Trong khi đó, số liệu quan trắc tại các trạm Trung Yên và Minh Khai (bắt đầu hoạt động quan trắc từ 01/5/2017) không có tình trạng như tại trạm Nguyễn Văn Cừ.

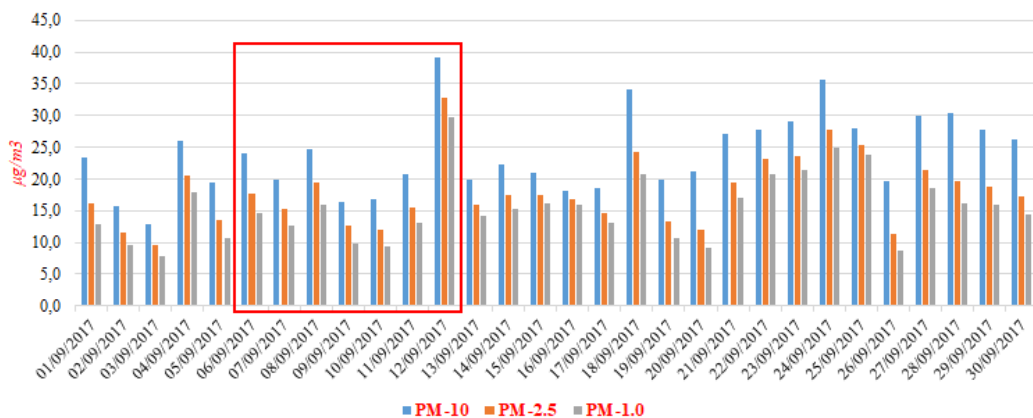
Do vậy, thiết bị quan trắc nồng độ bụi của trạm Trung Yên và Minh Khai hoạt động ổn định hơn thiết bị quan trắc nồng độ bụi của trạm Nguyễn Văn Cừ và số liệu quan trắc nồng độ bụi tại trạm Nguyễn Văn Cừ của năm 2019 không được lựa chọn cho mô phỏng.

Cũng theo quan điểm xem xét số liệu như đối với năm 2015, thời gian được chọn để tiến hành mô phỏng cho năm 2017, 2019 được xác định như phần trên.

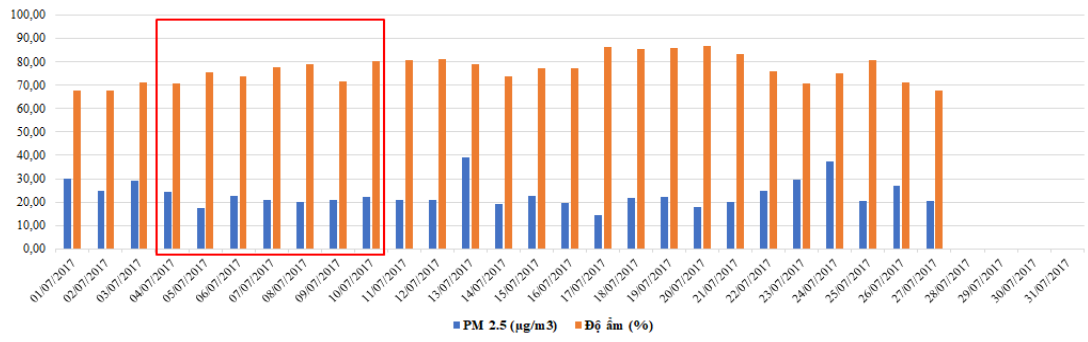
Nguyễn Văn Cừ - Tháng 7/2017



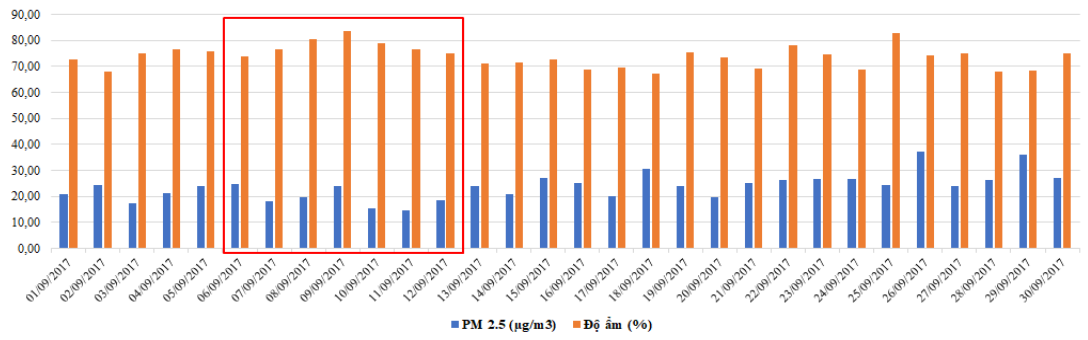
Nguyễn Văn Cừ - Tháng 9/2017



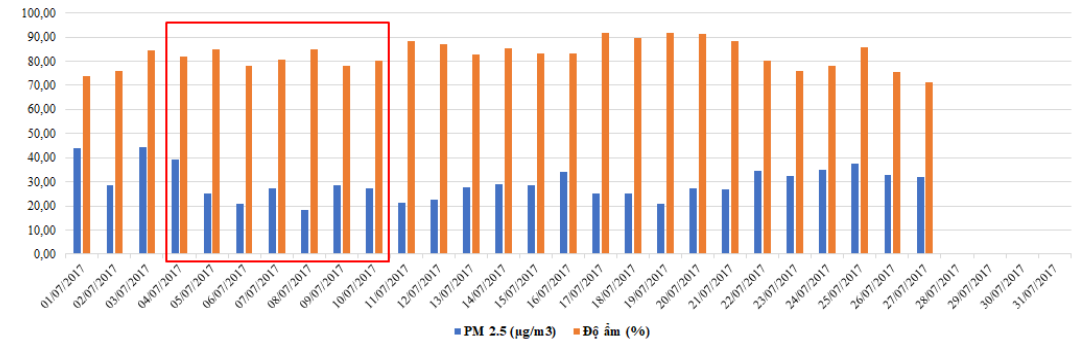
Trung Yên - 07-2017



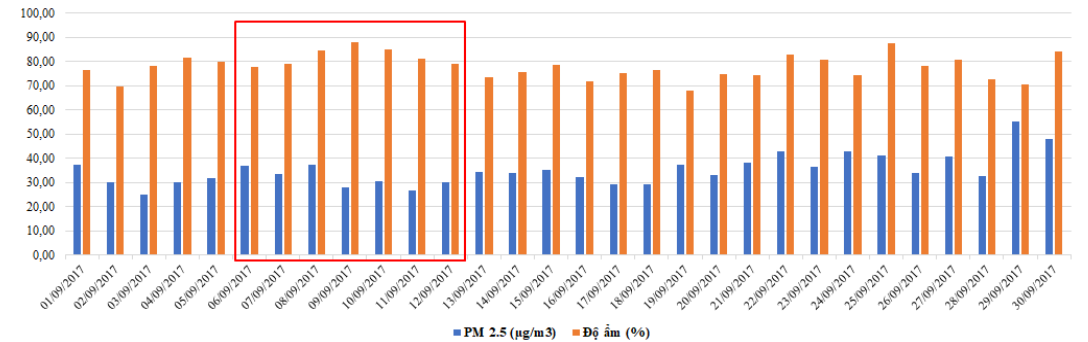
Trung Yên - 09-2017



Minh Khai - 07-2017



Minh Khai - 09-2017





Hình 3.5: Tổng hợp số liệu quan trắc tại các trạm cố định năm 2017, 2019

- Nguồn số liệu sử dụng:

Số liệu được sử dụng cho mô phỏng trong nghiên cứu này bao gồm ba nguồn chủ yếu như sau:

+ *Số liệu khí tượng*: được cung cấp miễn phí bởi Cục quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia Mỹ. Nguồn số liệu khí tượng toàn cầu này được sử dụng làm đầu vào cho mô hình, dưới đây là các nguồn số liệu thường được sử dụng:

Global Data Assimilation System (GDAS): GDAS là dạng số liệu đã được đồng hóa, được sử dụng làm cả đầu vào và đầu ra cho mô hình số.

Global Ensemble Forecast System (GEFS): GEFS là mô hình dự báo thời tiết toàn cầu được xây dựng từ 21 thành phần riêng biệt hoặc là sự tổ hợp từ các thành phần. GEFS được sử dụng để định lượng tính không chắc chắn của dự báo. Sản phẩm của GEFS tạo ra 4 lần một ngày với thời hạn dự báo lên đến 16 ngày.

Global Forecast System (GFS): GFS là mô hình kết hợp kiểu "coupled", các thành phần của GFS được hình thành từ 4 mô hình khác nhau, các hệ thống mô hình này hoạt động cùng một lúc để tạo ra hàng chục biến khí quyển và đất từ nhiệt độ, gió và lượng mưa đến độ ẩm của đất và nồng độ ôzôn trong khí quyển chính xác nhất. Quy mô của GFS bao phủ từ toàn cầu tới độ phân giải ngang là 28 km.

Climate Forecast System (CFS): CFS cung cấp các điều kiện để dự báo nghiệp vụ và dự báo mùa. Thời hạn dự báo lên đến 9 tháng.

North American Mesoscale (NAM): NAM là mô hình dự báo thời tiết khu vực với miền tính bao phủ toàn bộ Bắc Mỹ cho đến các quy mô có độ phân giải ngang là 12 km. Các tham số đều được đưa vào lưới của mô hình NAM, từ nhiệt độ, lượng mưa tới dòng sét và các nhiễu động khác trong khí quyển.

Rapid Refresh (RAP): RAP là mô hình dự báo thời tiết khu vực Bắc Mỹ. Miền tính của RAP bao gồm các ô lưới không đồng đều với độ phân giải khác nhau nhưng quy mô vẫn bao phủ hoàn toàn Bắc Mỹ. RAP tạo ra các sản phẩm

dự báo hàng giờ với hạn dự báo lên đến 18 giờ. Mô hình RAP được thay thế bởi mô hình RUC (Rapid Update Cycle) từ ngày 1 tháng 5 năm 2012.

Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS):

NOGAPS là số liệu tái phân tích, với độ phân giải của bộ số liệu là 0.5 độ kinh vĩ và 1 độ kinh vĩ.

Ngoài các nguồn số liệu về khí tượng kể trên, ở Việt Nam nói chung và miền Bắc nói riêng cũng có các trạm quan trắc khí tượng. Tuy nhiên, số liệu mang tính chất cục bộ, ở dạng điểm, mật độ các trạm quan trắc tại thành phố Hà Nội rất thưa, phân bố không đều và số liệu quan trắc khí tượng chưa đủ, ví dụ: gió hiện nay chỉ có số liệu trạm Hà Đông, trạm Láng hiện đang bị thay đổi vì phát triển đô thị, nhiều nhà cao tầng xung quanh. Mặt khác, số liệu GFS được sử dụng trong luận án có sẵn từ nhiệt độ, gió và lượng mưa đến độ ẩm của đất và nồng độ ôzôn trong khí quyển ở độ phân giải ngang cơ sở là 28 km giữa các điểm lưới, được xây dựng với sự kết hợp bốn mô hình riêng biệt (mô hình khí quyển, mô hình đại dương, mô hình đất và mô hình băng biển) đáp ứng tốt cho yêu cầu mô phỏng.

Do vậy, trong nghiên cứu này, nguồn số liệu GFS được chọn làm số liệu nền khí tượng đầu vào cho hệ thống mô hình WRF để thực hiện mô phỏng. Miền mô phỏng và nguồn số liệu đầu vào được xác định bằng cách sử dụng thông tin được chỉ định bằng các thông số trong file *namelist.wps* của WPS.

+ *Số liệu vệ tinh*: như đã trình bày ở trên, sản phẩm AOD được trích xuất từ số liệu vệ tinh MODIS Aqua/Terra Aerosol 5-Min L2 Swath 3 km được cung cấp miễn phí tại <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>, số liệu vệ tinh được download theo thời gian đã được xác định và được xử lý như trên mục 2.2.1 trước khi sử dụng cho quá trình đồng hóa.

+ *Số liệu phát thải*: Trên thực tế, Việt Nam chưa xây dựng được bộ số liệu phát thải theo đúng yêu cầu của mô hình CMAQ cho toàn khu vực (bao gồm cả các nước lân cận như Lào, Campuchia). Mặt khác, mục đích chính của

luận án là đánh giá tác động của việc đồng hóa số liệu vệ tinh cho mô hình CMAQ nên bộ số liệu phát thải toàn cầu do Mỹ xây dựng đã được lựa chọn làm đầu vào cho mô hình CMAQ để thực hiện cho mô phỏng tại khu vực Hà Nội.

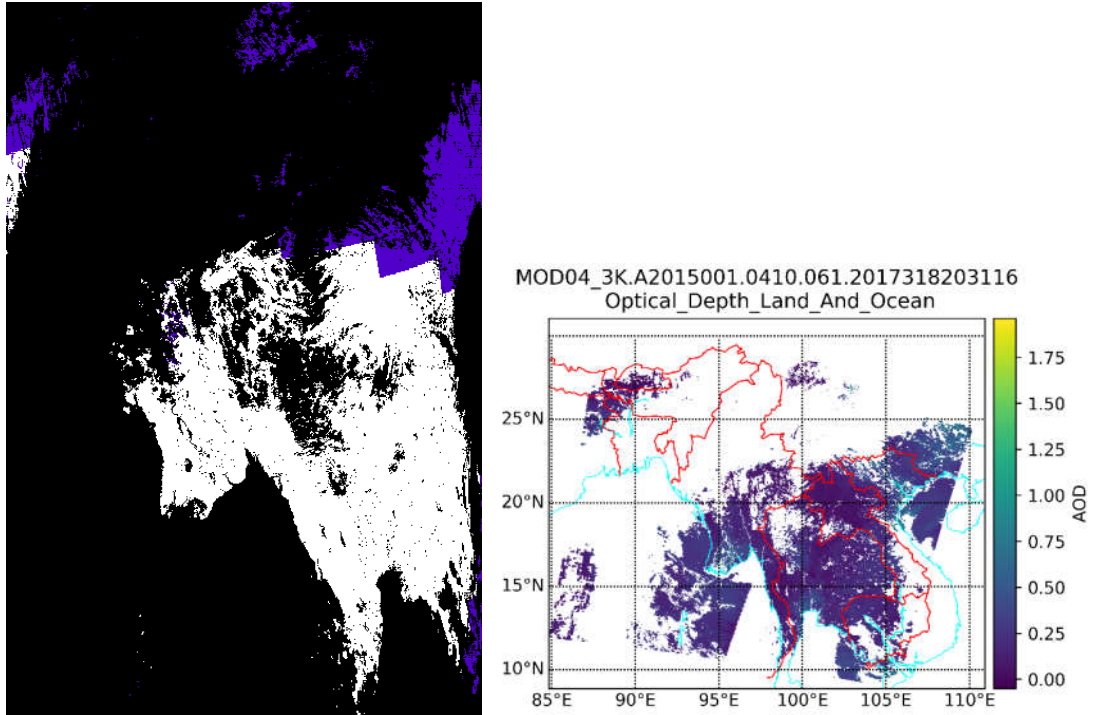
Số liệu phát thải này là số liệu lượng phát thải dạng lưới hàng giờ theo khu vực, lưu trữ về số liệu sinh học của các nguồn ô nhiễm không khí dạng hạt, các chất ô nhiễm độc hại và khí hữu cơ dễ bay hơi được sử dụng để: 1) tạo ra các kiểm kê phát thải cụ thể đối với khói mù khu vực, các hạt bụi có đường kính khí động học nhỏ hơn 2,5 μm (PM_{2.5}); 2) ước tính lượng phát thải ô nhiễm không khí nguy hiểm và độc hại từ PM và khí thải hữu cơ sơ cấp.

Tuy nhiên, nguồn số liệu này có độ phân giải về mặt không gian chưa hoàn toàn phù hợp với mô phỏng ở quy mô khu vực, chưa chi tiết và chính xác khi áp dụng cho khu vực Hà Nội, do đó, số liệu phát thải này đã được xử lý downscale xuống quy mô cho khu vực Hà Nội trước khi sử dụng cho mô phỏng của nghiên cứu.

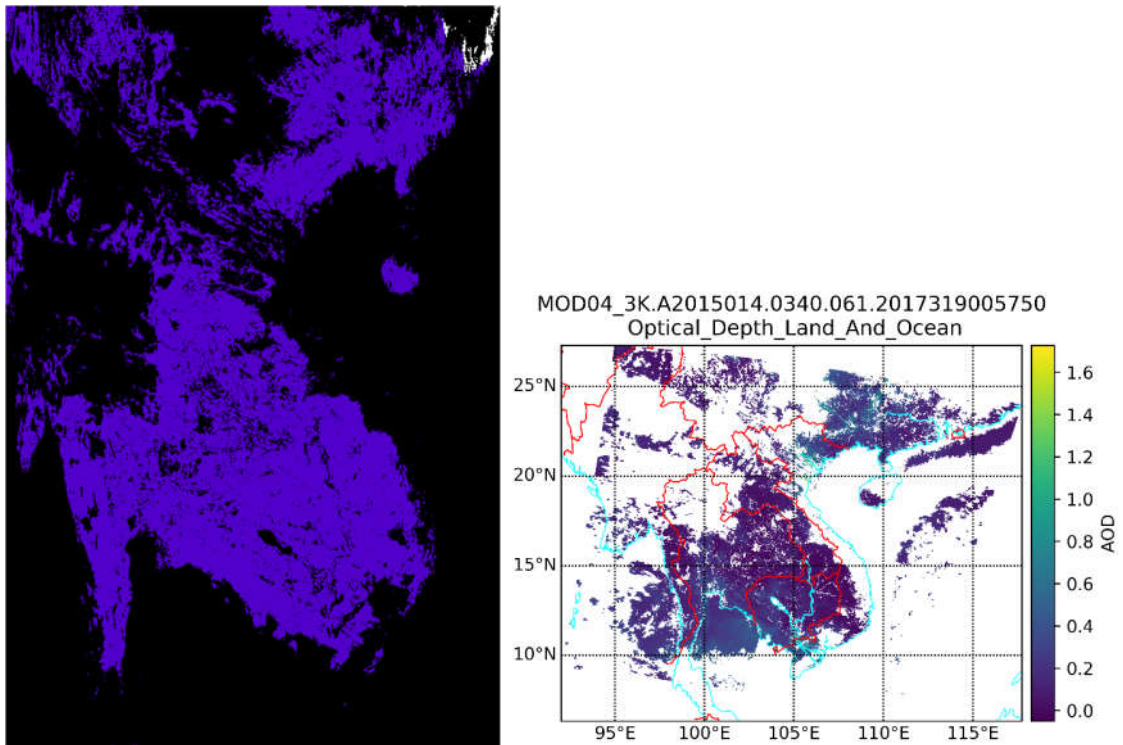
Các bước tiến hành mô phỏng:

Các bước tiến hành mô phỏng và đồng hóa số liệu tuân thủ theo các bước thực hiện mô phỏng được thể hiện trong *Hình 3.1* trên hệ thống mô hình WRF-CMAQ thông qua tiện ích chuyển đổi MCIP được phát hành kèm theo gói mã nguồn của CMAQ.

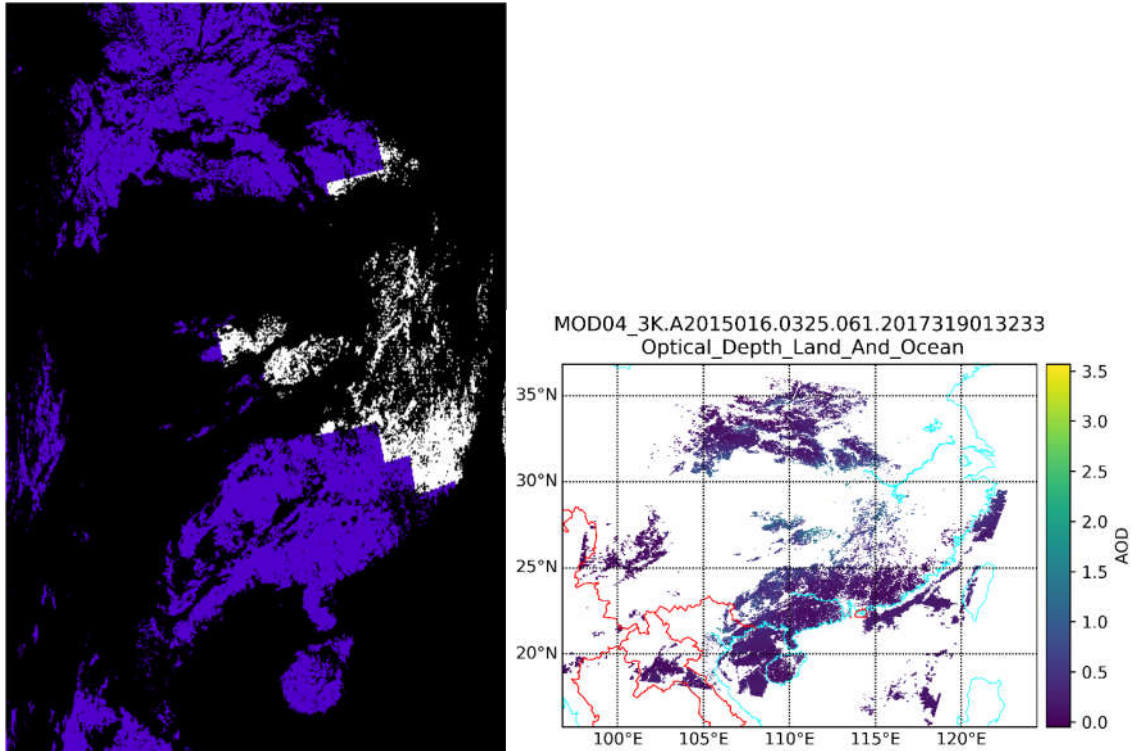
Như đã trình bày ở mục 2.3.2, số liệu AOD từ dữ liệu vệ tinh MODIS trước khi được đưa vào quá trình đồng hóa đã được xử lý. Kết quả trích xuất số liệu AOD từ dữ liệu vệ tinh MODIS được thể hiện như *Hình 3.6* đến *Hình 3.11*. Số liệu AOD sử dụng trong quá trình đồng hóa được định dạng LITTLE_R, nghiên cứu này đã xây dựng một phần mềm trên nền Python 3.7 với các mục đích: loại bỏ các số liệu AOD không nằm trong miền mô phỏng, gán có chất lượng cho số liệu đạt tiêu chuẩn, đồng nhất về thuộc tính của số liệu và chuyển đổi sang định dạng LITTLE_R làm số liệu đầu vào cho module WRFDA.



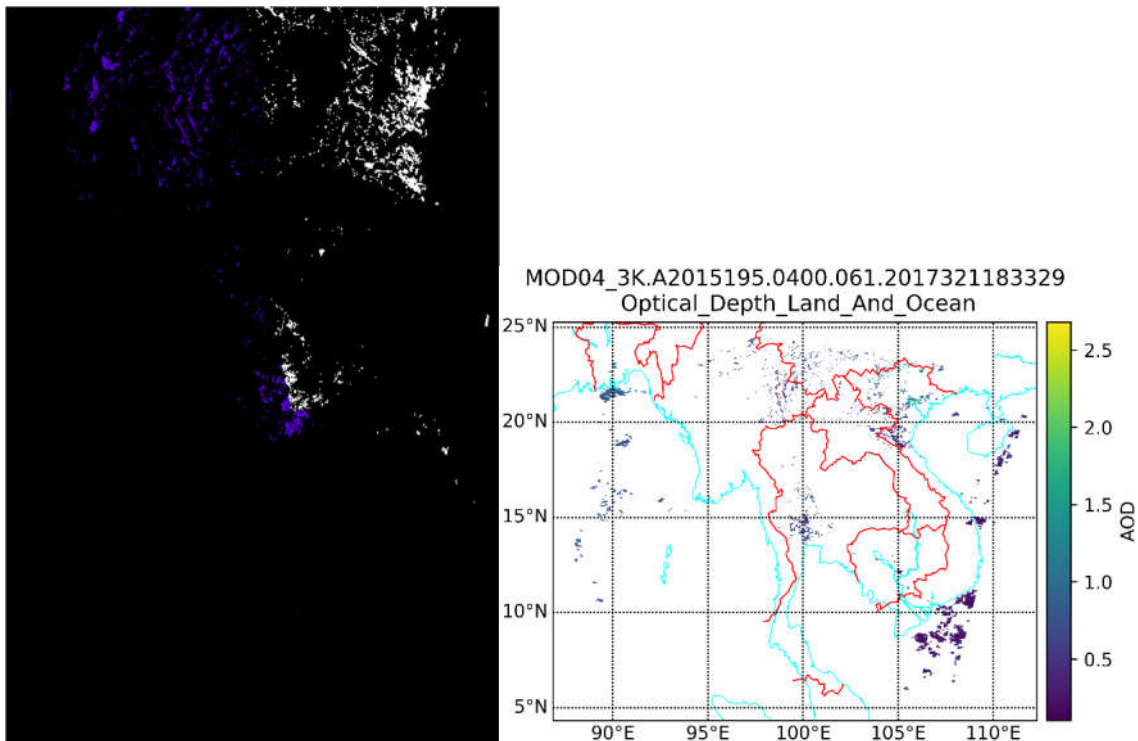
Hình 3.6: Ảnh MODIS_3K ngày 01/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)



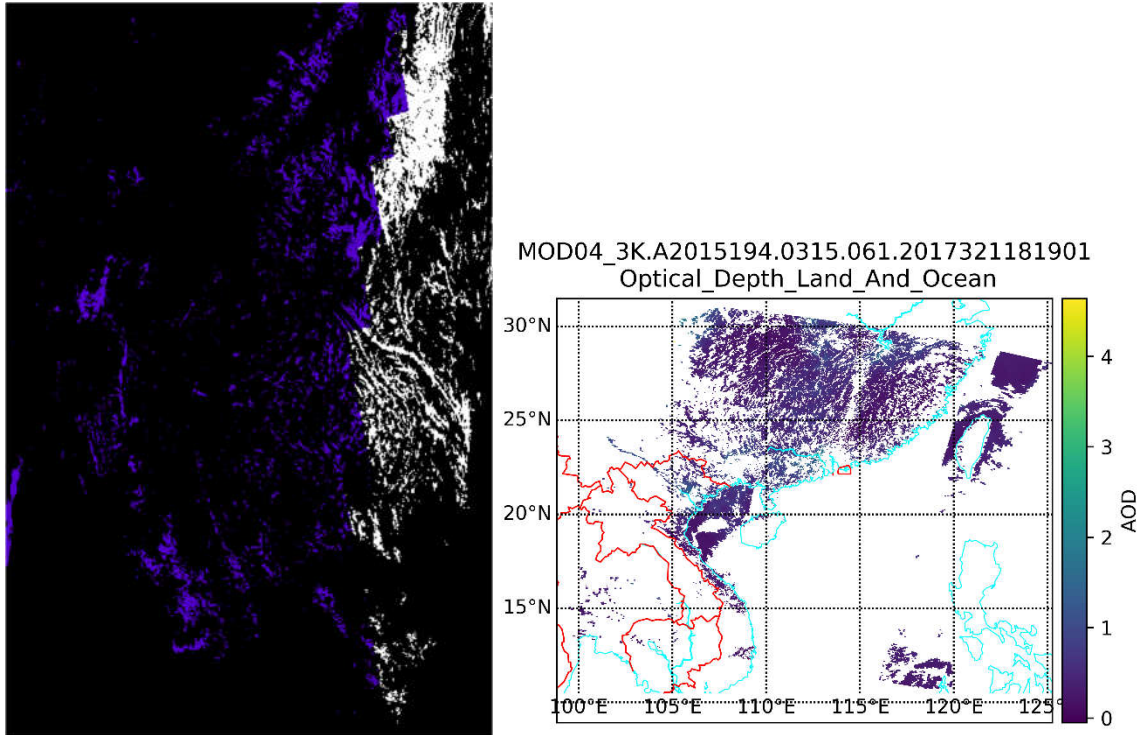
Hình 3.7: Ảnh MODIS_3K ngày 14/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)



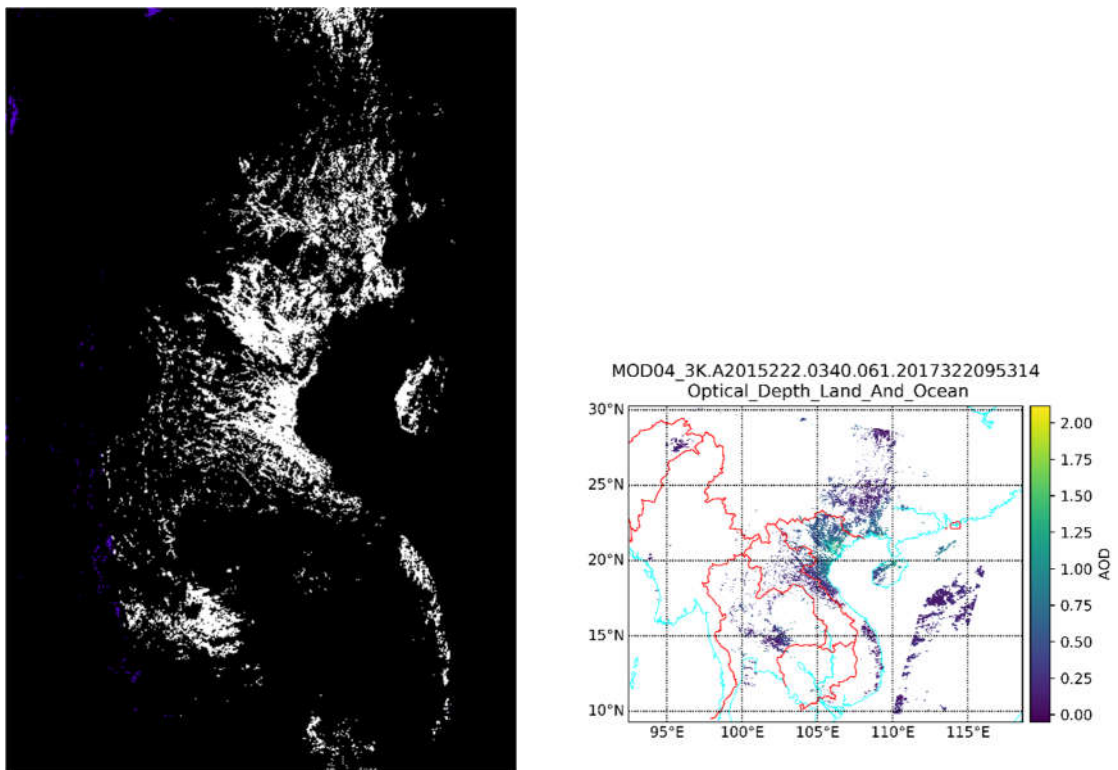
Hình 3.8: Ảnh MODIS_3K ngày 16/01/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)



Hình 3.9: Ảnh MODIS_3K ngày 14/07/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)



Hình 3.10: Ảnh MODIS_3K ngày 13/07/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)



Hình 3.11: Ảnh MODIS_3K ngày 10/08/2015 (bên trái) và số liệu AOD của ảnh (bên phải)

Chi tiết các bước tiến hành mô phỏng thực nghiệm được trình bày tại phần phụ lục của luận án.

3.2. Kết quả mô phỏng thực nghiệm

Sau khi tiến hành thực nghiệm mô phỏng với các điều kiện và quy trình như đã trình bày ở phần trên, kết quả thu được là các file hình ảnh thể hiện nồng độ bụi PM_{2.5} được trích xuất dưới dạng ảnh png, cụ thể kết quả xem ở phần phụ lục.

Dựa trên cách xác định các khoảng thời gian như ở trang 91, kết quả của mô phỏng thực nghiệm cho khu vực Hà Nội và các vùng lân cận được thể hiện theo các khoảng thời gian, cụ thể như sau:

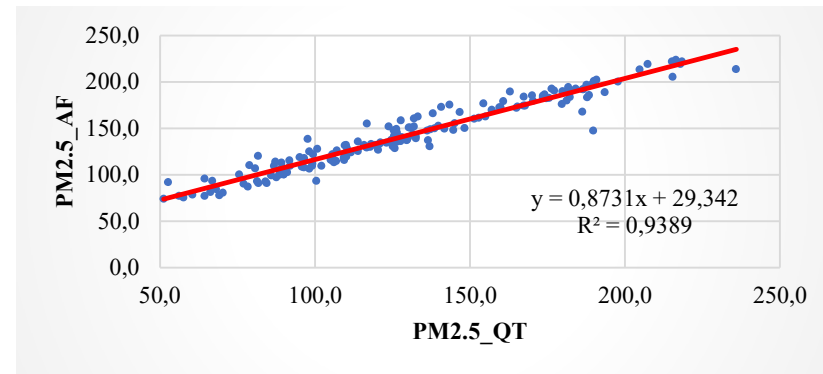
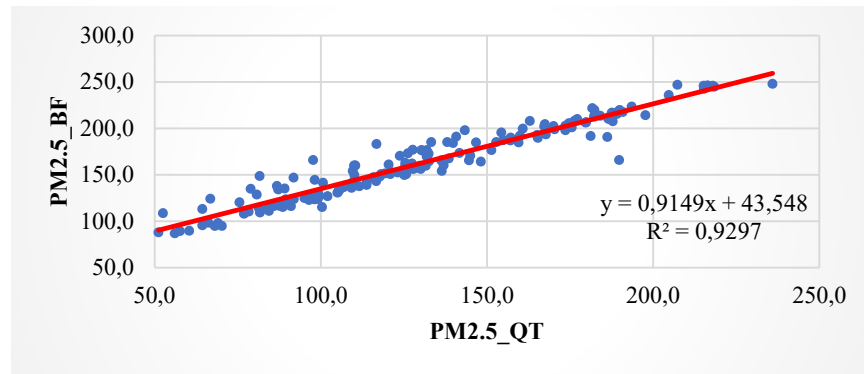
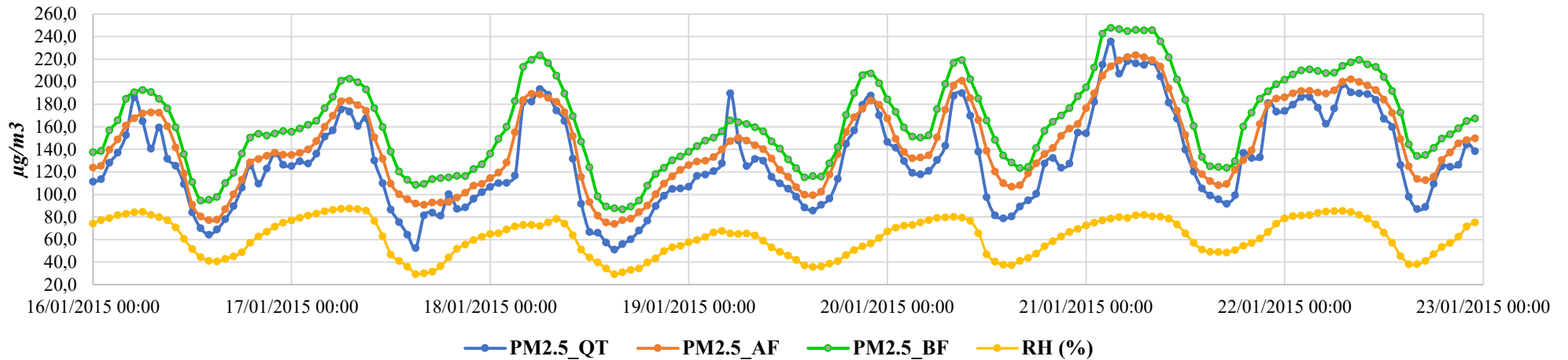
3.2.1. Kết quả mô phỏng vào mùa mưa

Thời gian mô phỏng thực nghiệm 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.

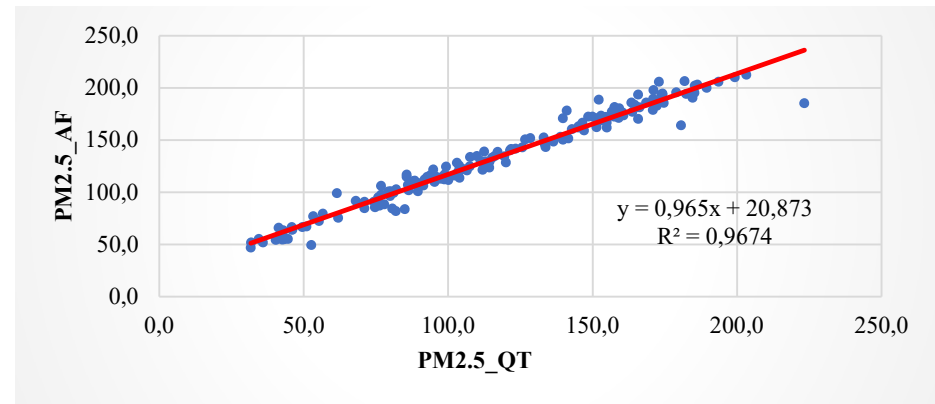
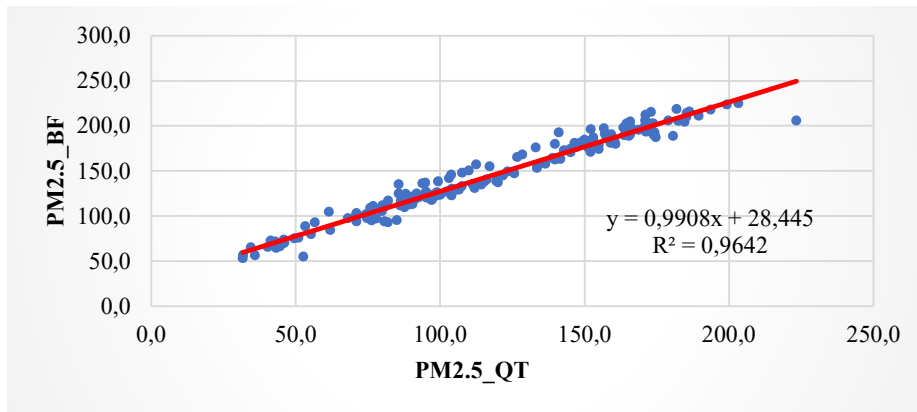
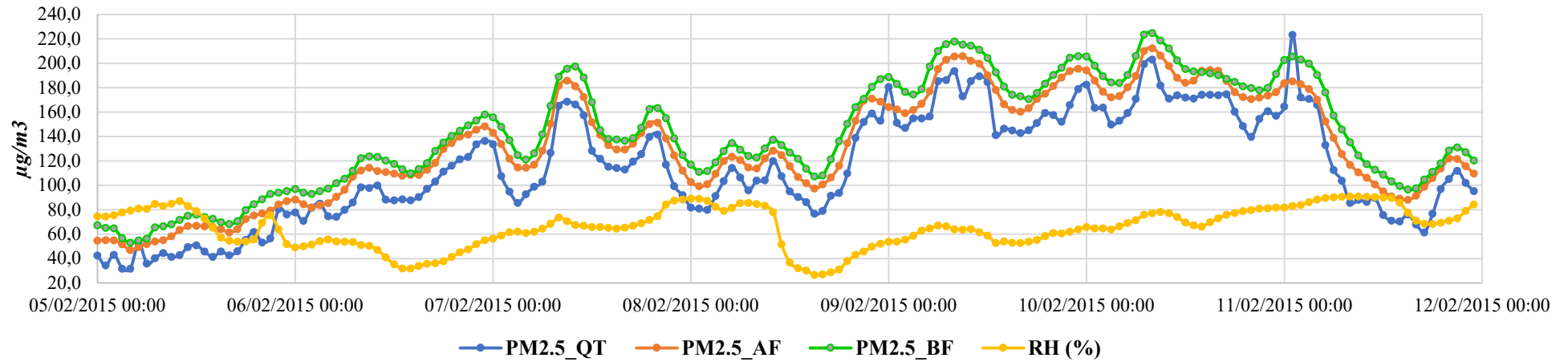
Dưới đây là kết quả mô phỏng được thể hiện ở dạng đồ thị so sánh trước và sau khi đồng hóa với nồng độ PM_{2.5} được quan trắc tại các trạm Nguyễn Văn Cừ, Trung Yên và Minh Khai, đồng thời là kết quả hồi quy nồng độ PM_{2.5} từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa.

TRẠM NGUYỄN VĂN CỪ - 01/2015



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

TRẠM NGUYỄN VĂN CÙ - 02/2015



Hình 3.13: 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 05/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cù

Số liệu quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015 và từ 00 giờ ngày 05/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015 được tổng hợp và thể hiện ở phần Phụ lục.

Kết quả nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình CMAQ được xác định ở độ cao khoảng 20 mét so với mặt đất được xác định trong quá trình khởi tạo số liệu thực ở bước trên.

Trên biểu đồ thể hiện sự tương quan nồng độ $PM_{2.5}$ từ trạm quan trắc và kết quả ước tính từ mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa chúng ta nhận thấy: khi độ ẩm trong không khí ở mức thấp thì nồng độ $PM_{2.5}$ là tương đối cao trong khoảng thời gian tháng 1 và tháng 2 trong năm.

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 $PM_{2.5}$ tại trạm quan trắc Nguyễn Văn Cừ đã được cải thiện (R^2 từ 0,929 lên 0,938 đối với thời gian tháng 01/2015 và từ 0,964 lên 0,967 đối với tháng 02/2015). Nồng độ $PM_{2.5}$ sau khi đồng hóa có giải biến động tốt hơn (gần với số liệu tại trạm quan trắc) so với trước khi đồng hóa.

Trong thời gian mô phỏng của tháng 01 và tháng 02/2015, nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm quan trắc và kết quả dữ liệu mô phỏng từ mô hình trước và sau khi đồng hóa với số liệu AOD từ vệ tinh MODIS có sự tương đồng với số liệu độ ẩm thu nhận được từ trạm quan trắc (số liệu có màu vàng trong *Hình 3.12* và *Hình 3.13*).

Kết quả nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình (cả trước và sau khi đồng hóa) cũng thể hiện tốt sự tương quan với thời gian thực tế: trong khoảng thời gian cao điểm về giao thông (khoảng từ 16 giờ đến 22 giờ), nồng độ $PM_{2.5}$ tăng dần. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình có độ trễ so với số liệu quan trắc, điều này thể hiện quá trình vận chuyển các chất ô nhiễm (trong đó có

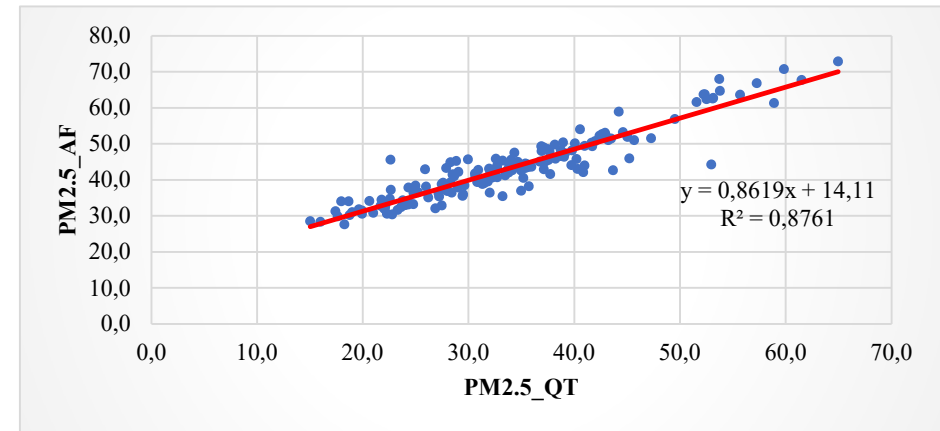
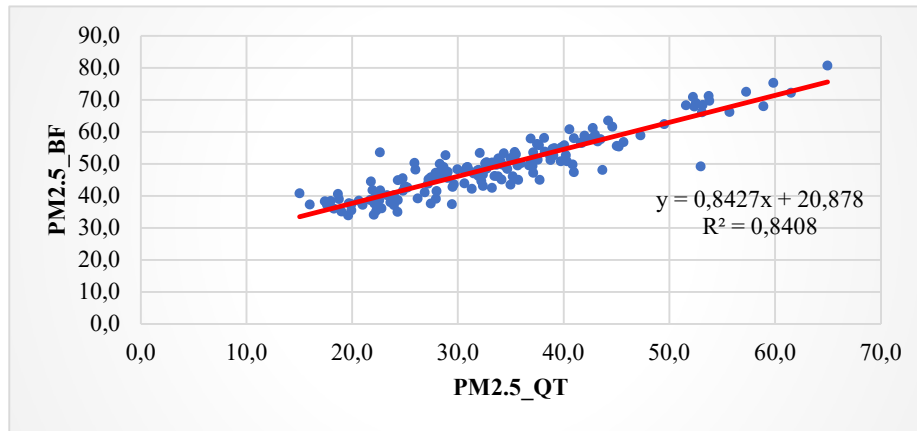
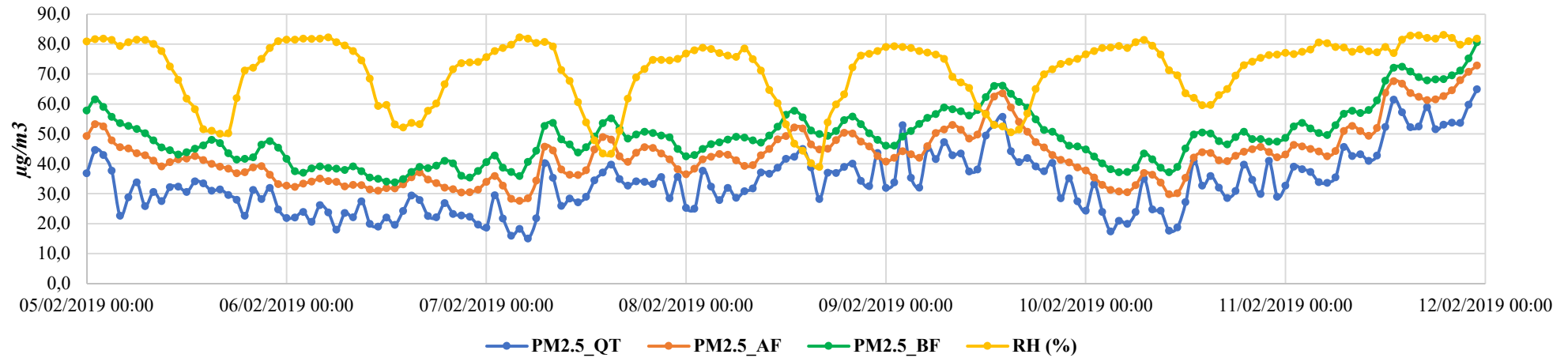
PM_{2.5}) từ độ cao của trạm quan trắc khoảng dưới 15 mét lên đến lớp đầu tiên của mô hình được quy định ở mức khoảng 22 mét.

Từ sự tương quan ở *Hình 3.12* và *Hình 3.13*, chúng ta cũng nhận thấy rằng, khi độ ẩm ở mức cao thì nồng độ của PM_{2.5} cũng ở mức cao. Trong khoảng thời gian của mô phỏng này là thời gian thường xảy ra hiện tượng mây mù do đặc trưng thời tiết của khu vực, điều này ngăn cản sự vận chuyển các chất ô nhiễm lên tầng cao của khí quyển, tạo ra nồng độ PM_{2.5} ở tầng thấp tăng cao.

Cũng từ sự tương quan ở *Hình 3.12* và *Hình 3.13*, chúng ta nhận thấy số liệu sau khi đồng hóa của thời gian mô phỏng mang tính chất tuyến tính tốt hơn, không có trường đột biến như số liệu quan trắc (ví dụ: từ 05 - 08 giờ ngày 16/01, 15 giờ ngày 17/01, 05 giờ ngày 19/01, 05 giờ ngày 05/02, 00 giờ ngày 09/02, 01 giờ ngày 11/02 và một số giờ khác). Mặt khác, giá trị hồi quy cao ở mức 0,9 thể hiện số liệu quan trắc là ổn định và tương đối tốt.

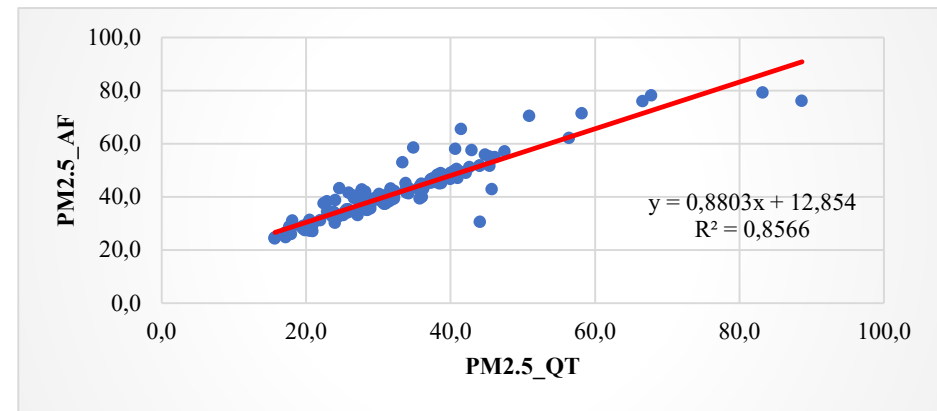
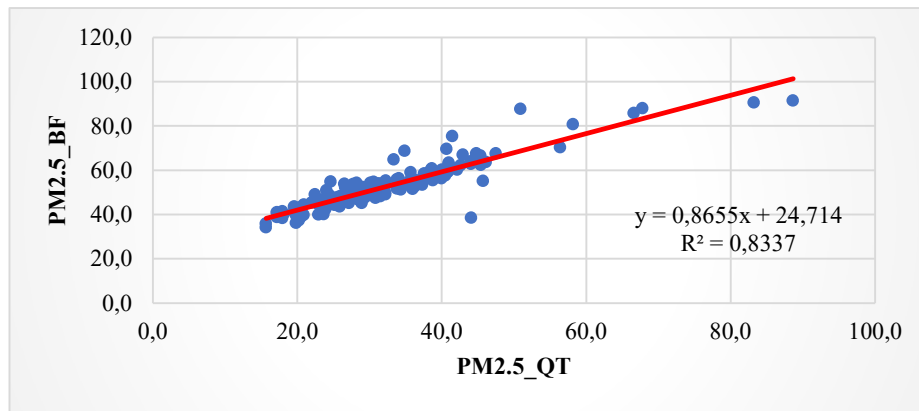
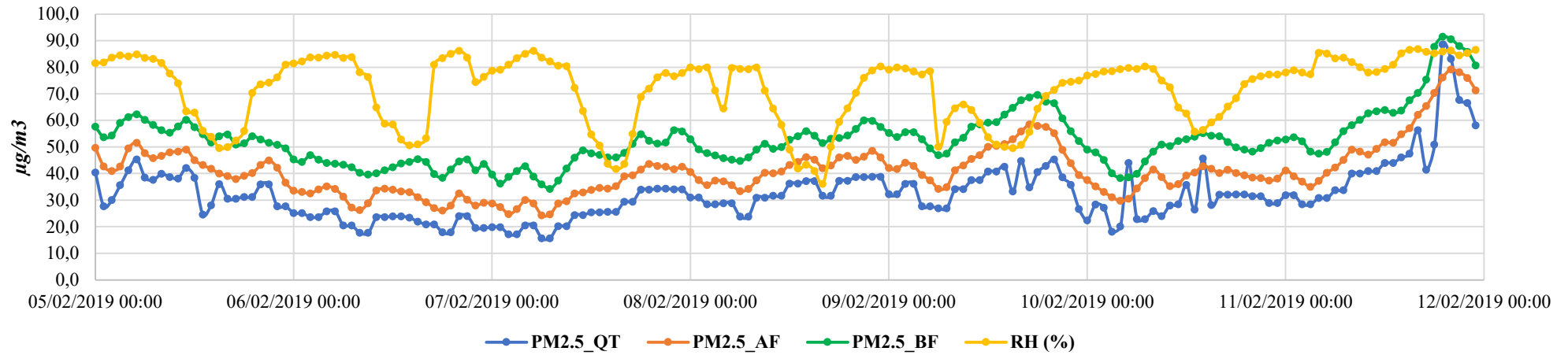
Ngoài ra, số liệu quan trắc tại trạm cũng có một số thời điểm không hợp lý (tăng vọt hoặc giảm đột ngột), điều này thể hiện số liệu quan trắc tại thời điểm đó gặp sự cố.

TRẠM TRUNG YÊN - 02/2019



Hình 3.14: 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 Trung Yên

TRẠM MINH KHAI - 02/2019



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

Số liệu quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Trung Yên và trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019 được tổng hợp và thể hiện ở phần Phụ lục.

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 tại cả hai trạm quan trắc, R^2 tăng từ 0,840 lên 0,876 tại trạm Trung Yên và từ 0,833 lên 0,857 tại trạm Minh Khai vào tháng 02/2019.

Kết quả này đã thể hiện rõ, cho thấy sự có mặt của các quan trắc từ vệ tinh (nghĩa là các giá trị AOD từ số liệu viễn thám MODIS) đã được xem xét, tích hợp, đồng hóa và tính toán trong quá trình mô phỏng.

Sau khi xem xét, so sánh kết quả mô phỏng ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước và sau khi đồng hóa trong thời gian thực hiện mô phỏng vào mùa mưa của các năm 2015 và 2019, kết quả nghiên cứu đã thể rõ số liệu độ sâu quang học AOD đã được đồng hóa trong kết quả mô phỏng, hoàn toàn thống nhất với điều kiện thời tiết, khí hậu và có tác động tích cực đến kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$.

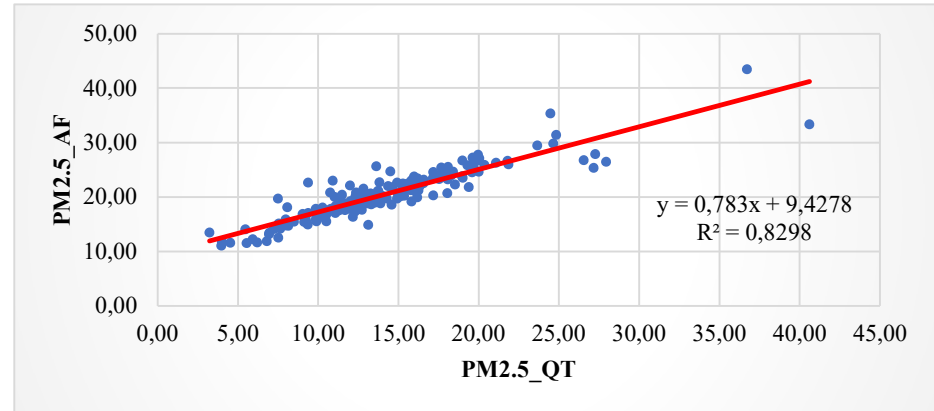
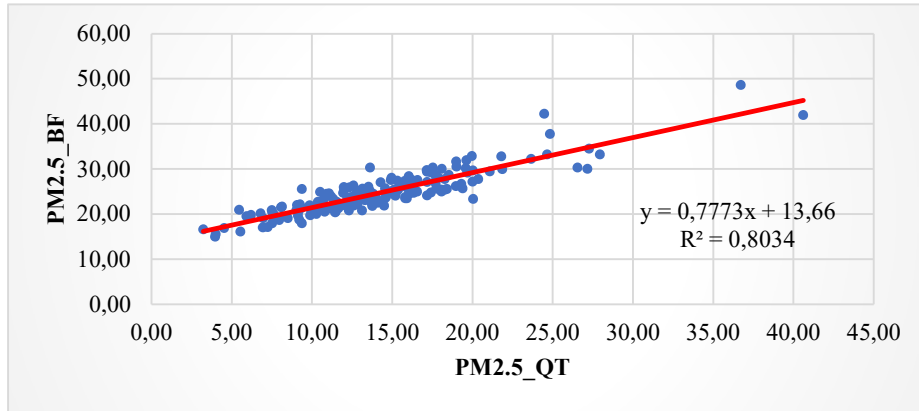
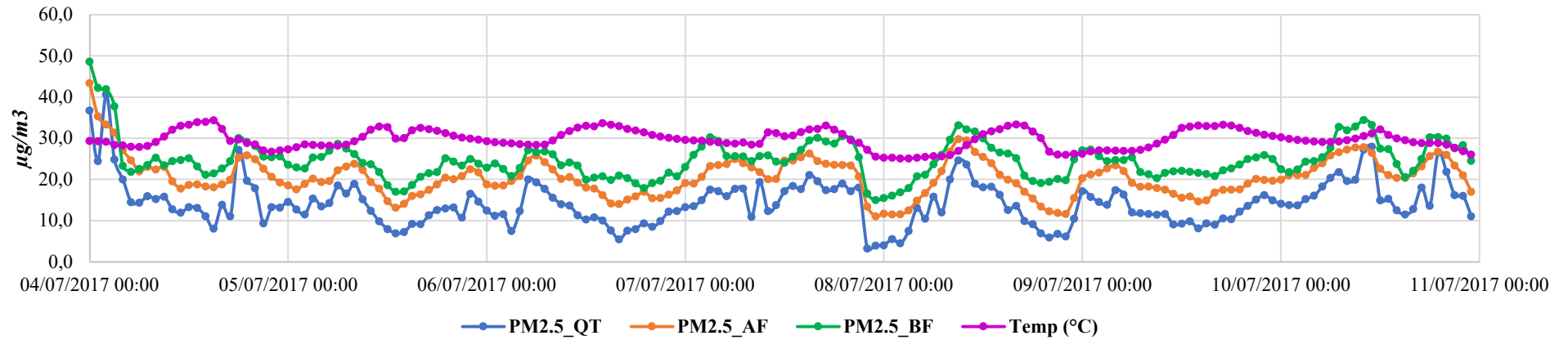
3.2.2. Kết quả mô phỏng vào mùa khô

Thời gian mô phỏng thực nghiệm 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.

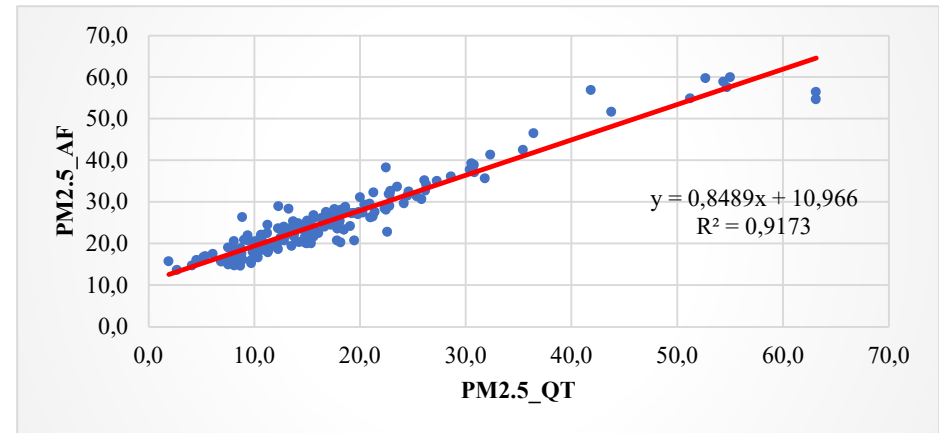
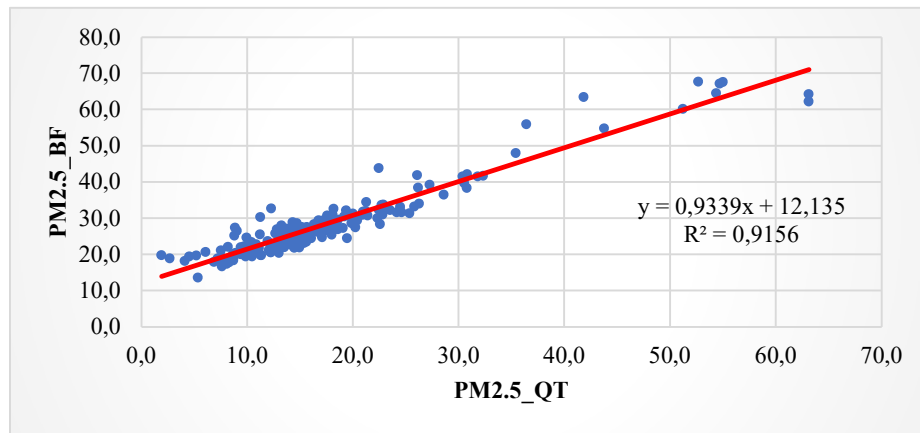
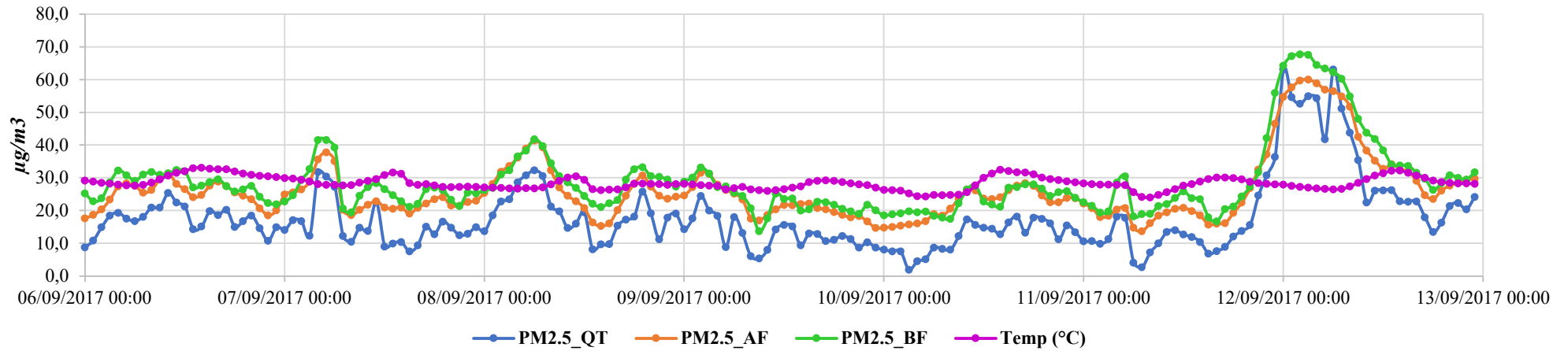
Dưới đây là kết quả mô phỏng được thể hiện ở dạng đồ thị so sánh trước và sau khi đồng hóa với nồng độ $PM_{2.5}$ được quan trắc tại các trạm Nguyễn Văn Cừ, Trung Yên và Minh Khai, đồng thời là kết quả hồi quy nồng độ $PM_{2.5}$ từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa.

TRẠM NGUYỄN VĂN CÙ - 07/2017



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 Cù

TRẠM NGUYỄN VĂN CÙ - 09/2017



Hình 3.17: 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 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cù

Số liệu quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017 và từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 được tổng hợp và thể hiện ở phần Phụ lục.

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 $PM_{2.5}$ tại trạm quan trắc Nguyễn Văn Cừ đã được cải thiện (R^2 từ 0,803 lên 0,829 đối với tháng 07/2017 và từ 0,915 lên 0,917 đối với tháng 09/2017). Nồng độ $PM_{2.5}$ sau khi đồng hóa tương đồng với số liệu quan trắc tại trạm và không có tình trạng đột biến như số liệu quan trắc, điều này chứng tỏ kết quả từ mô hình đã loại bỏ được các sai số thô như trong số liệu quan trắc truyền thống.

Cũng tương tự như mô phỏng của năm 2015, số liệu sau khi đồng hóa của thời gian mô phỏng mang tính chất tuyến tính tốt hơn, không có trường đột biến như số liệu quan trắc. Mặt khác, giá trị hồi quy cao ở mức 0,8 - 0,9 thể hiện số liệu quan trắc là ổn định và tương đối tốt.

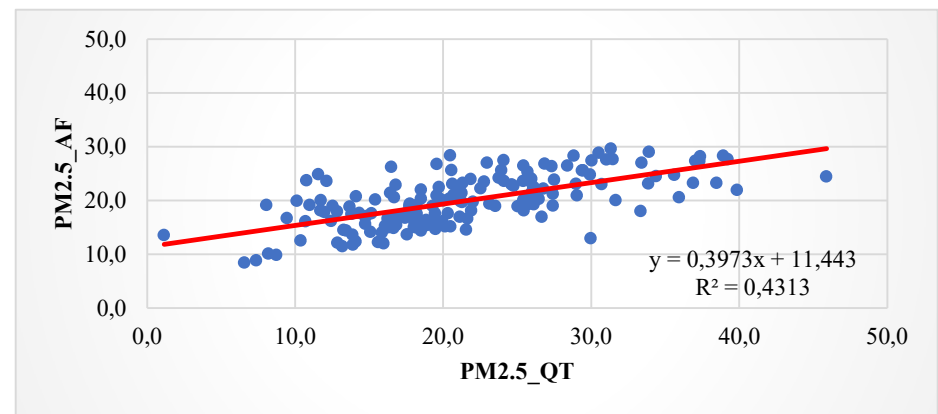
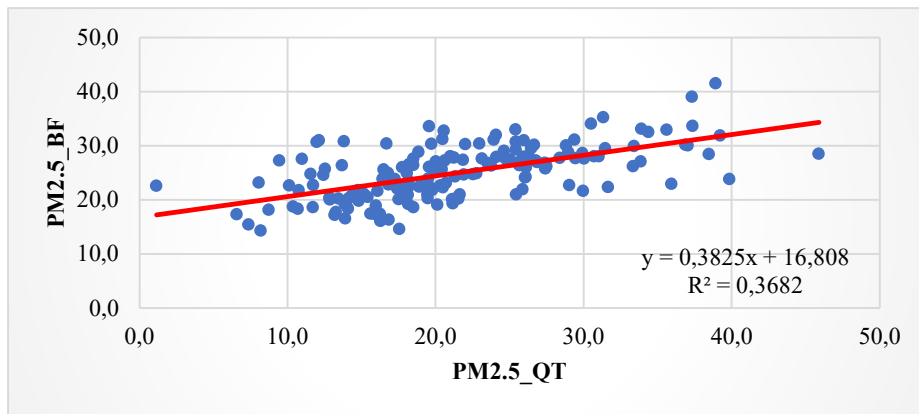
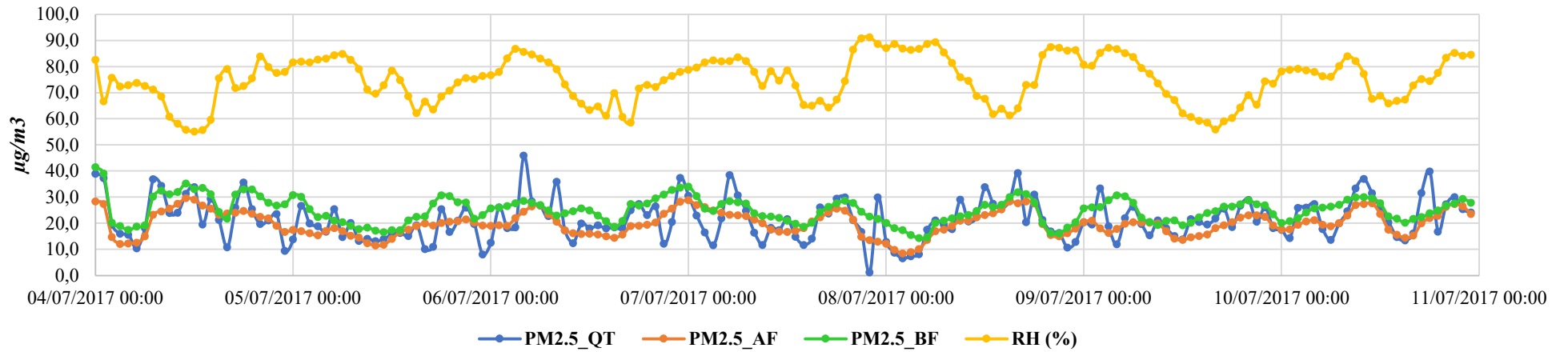
Trong thời gian mô phỏng của tháng 07/2017 và tháng 09/2017, nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm quan trắc và kết quả dữ liệu mô phỏng từ mô hình trước và sau khi đồng hóa với số liệu AOD từ vệ tinh MODIS có sự tương đồng với số liệu nhiệt độ thu nhận được từ trạm quan trắc (số liệu có màu vàng trong *Hình 3.16* và *Hình 3.17*).

Kết quả nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình (cả trước và sau khi đồng hóa) cũng thể hiện tốt sự tương quan với thời gian thực tế: trong khoảng thời gian cao điểm về giao thông (khoảng từ 07 giờ đến 10 giờ và từ 16 giờ đến 22 giờ hàng ngày), nồng độ $PM_{2.5}$ tăng dần. Tương đồng với kết quả mô phỏng đối với thời gian tháng 01 và tháng 02 năm 2015, kết quả mô phỏng nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình có độ trễ so với số liệu quan trắc, điều này thể hiện quá trình vận chuyển các chất ô nhiễm từ độ cao của trạm quan trắc lên đến lớp đầu tiên của mô hình.

Đối với thời gian của mô phỏng này, tại trạm Nguyễn Văn Cừ không có số liệu độ ẩm, thay vào đó là số liệu về nhiệt độ. Trong khoảng thời gian của mô phỏng này là thời gian mùa hè, có nhiệt độ tương đối cao, do đó, nồng độ $PM_{2.5}$ có xu hướng giảm xuống thấp hơn thời điểm tháng 01 và tháng 02 của năm do sự vận chuyển các chất ô nhiễm lên tầng cao của khí quyển tốt hơn, tạo ra nồng độ $PM_{2.5}$ ở tầng thấp có giá trị tương đối thấp.

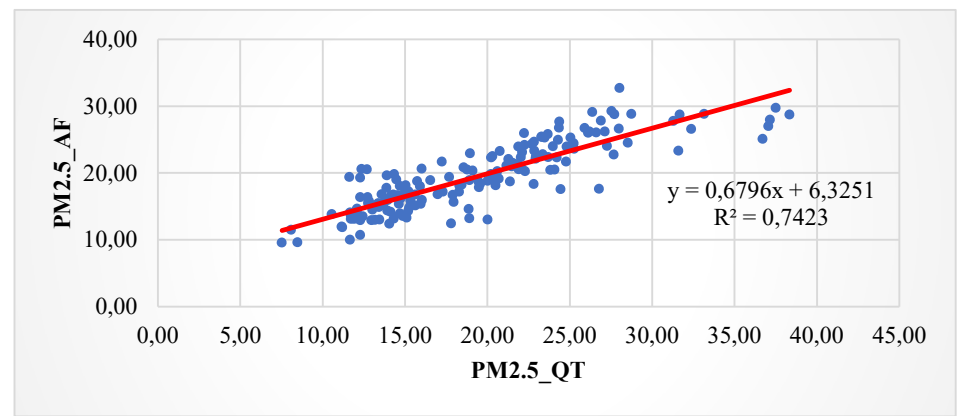
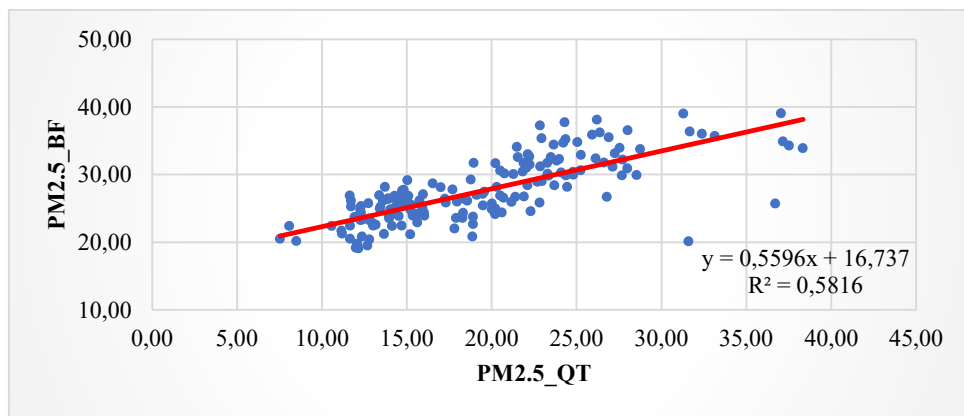
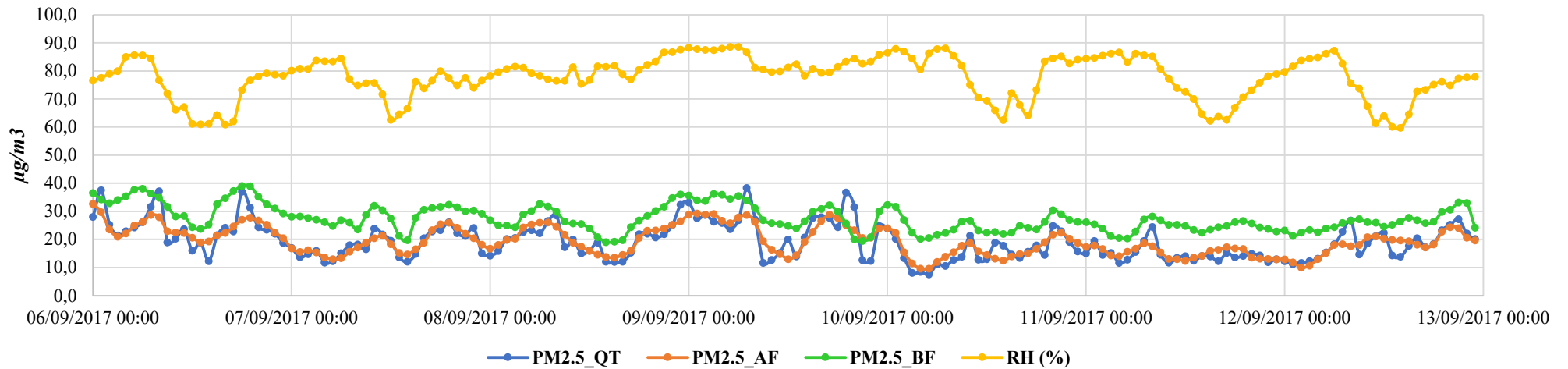
Trong khoảng thời gian mô phỏng tháng 7 và tháng 9 năm 2017 cũng xuất hiện một vài thời điểm số liệu quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm cũng có sự thay đổi đột ngột, điều này thể hiện số liệu quan trắc tại thời điểm đó gặp sự cố.

TRẠM TRUNG YÊN - 07/2017



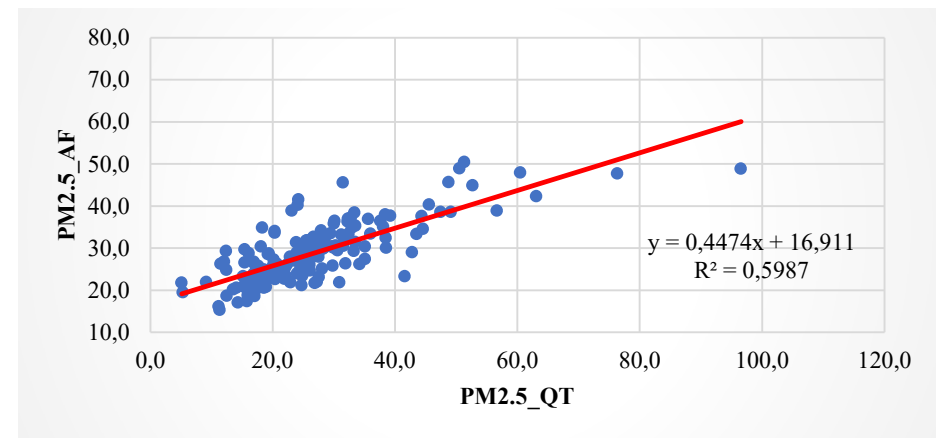
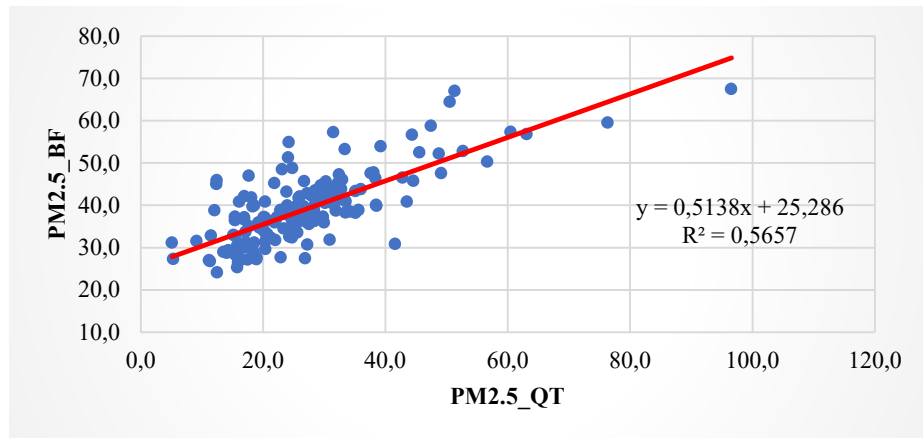
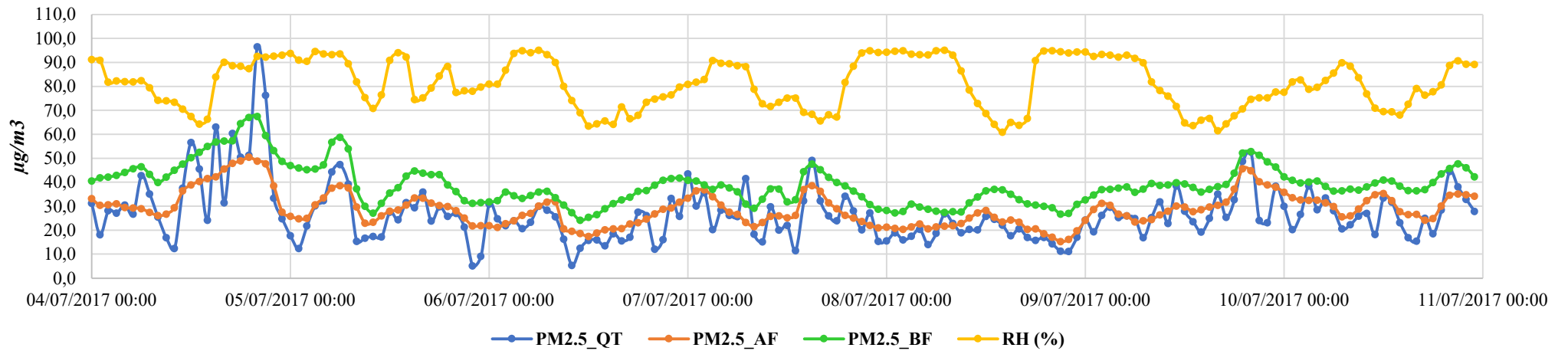
Hình 3.18: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017 tại trạm Trung Yên

TRẠM TRUNG YÊN - 09/2017



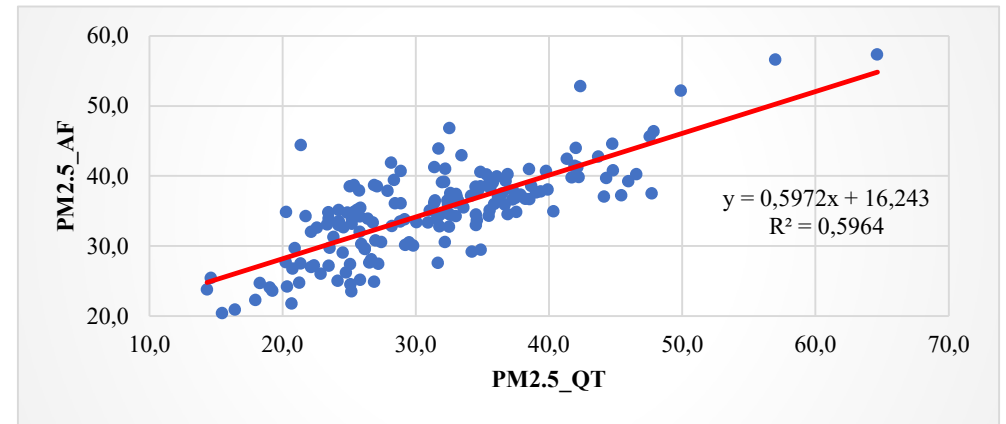
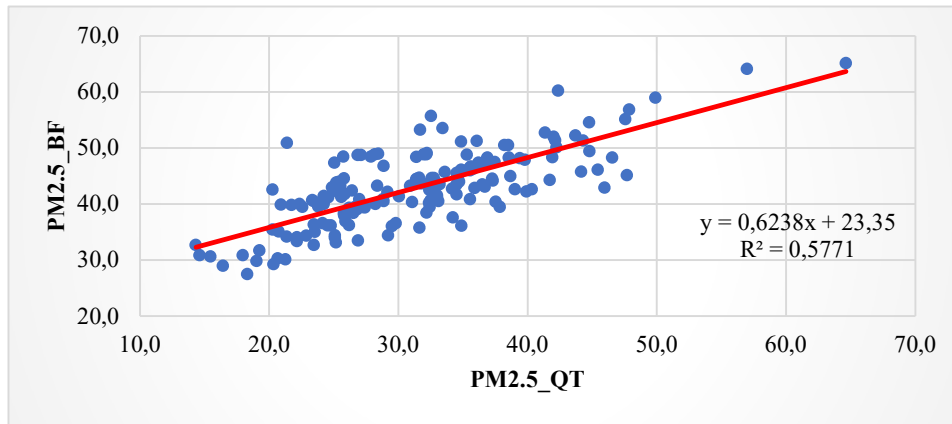
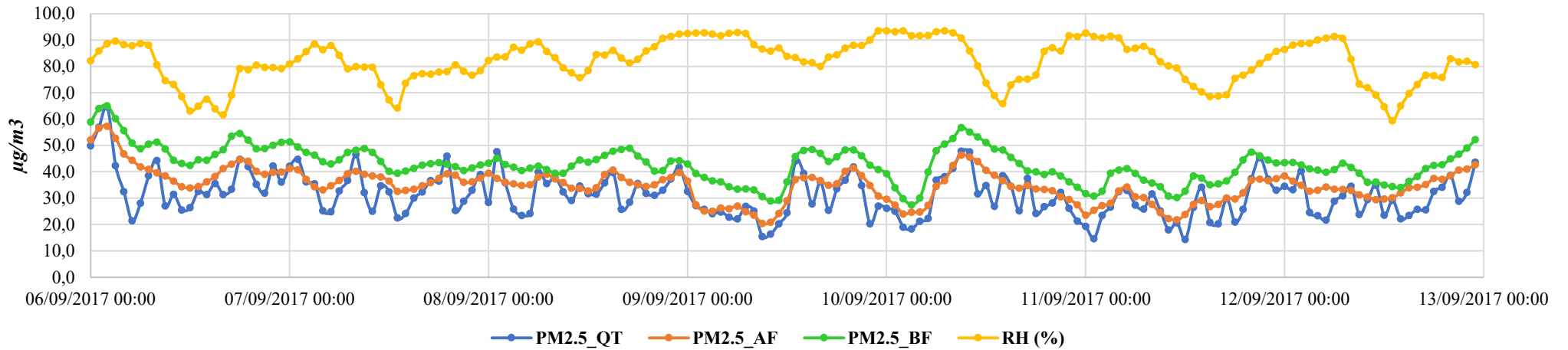
Hình 3.19: Tương quan, kết quả hồi quy nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ từ trạm quan trắc và mô hình CMAQ trước và sau khi đồng hóa từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Trung Yên

TRẠM MINH KHAI - 07/2017



Hình 3.20: 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 11/07/2017 tại trạm Minh Khai

TRẠM MINH KHAI - 09/2017



Hình 3.21: 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 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 tại trạm Minh Khai

Số liệu quan trắc nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên và trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017 và từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017 được tổng hợp và thể hiện ở phần Phụ lục.

Cả hai trạm quan trắc Trung Yên và Minh Khai đều bắt đầu vận hành từ tháng 5 năm 2017, do đó số liệu quan trắc vào thời điểm tháng 7/2017 có thể chưa ổn định, đến tháng 9/2017, số liệu thể hiện có sự ổn định hơn. Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại các trạm quan trắc xuất hiện những bất thường, cụ thể:

+ Từ 00 giờ 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017 tại trạm Trung Yên và từ 00 giờ 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 11/07/2017 tại trạm Minh Khai đa số là bất thường, không ổn định;

+ Tại trạm Trung Yên: từ 08 giờ đến 18 giờ ngày 06/09/2017, từ 07 giờ đến 14 giờ ngày 09/09/2017;

Điều này cũng một phần giải thích cho sự tương quan hồi quy giữa nồng độ PM_{2.5} trước và sau khi đồng hóa với nồng độ PM_{2.5} tại trạm quan trắc ở mức thấp:

+ Tại trạm Trung Yên 07/2017 trước khi đồng hóa có $R^2 = 0,368$ và sau khi đồng hóa $R^2 = 0,431$;

+ Tại trạm Minh Khai 07/2017 trước khi đồng hóa có $R^2 = 0,565$ và sau khi đồng hóa $R^2 = 0,598$;

+ Tại trạm Minh Khai 09/2017 trước khi đồng hóa có $R^2 = 0,577$ và sau khi đồng hóa $R^2 = 0,596$;

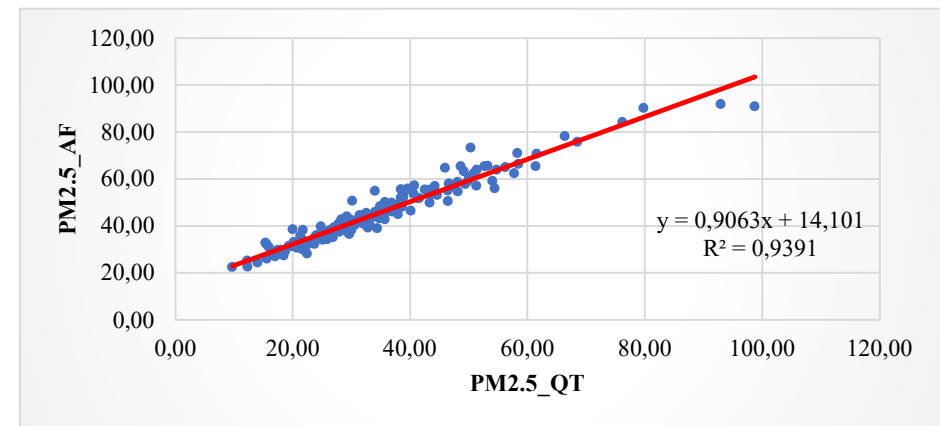
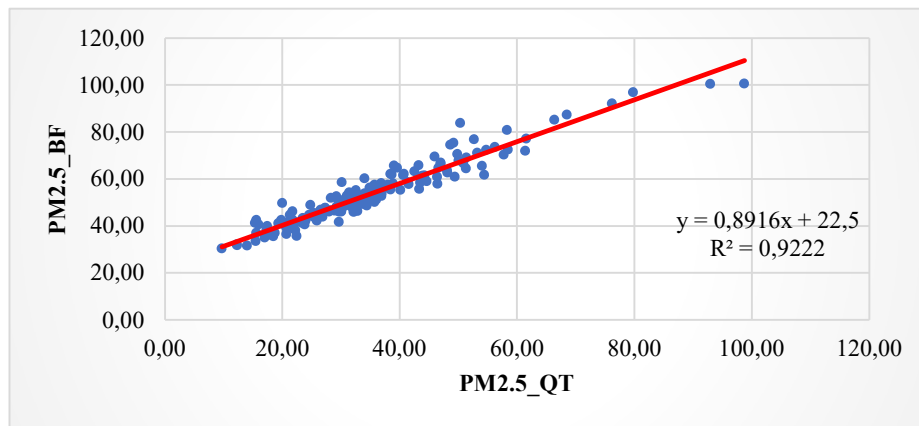
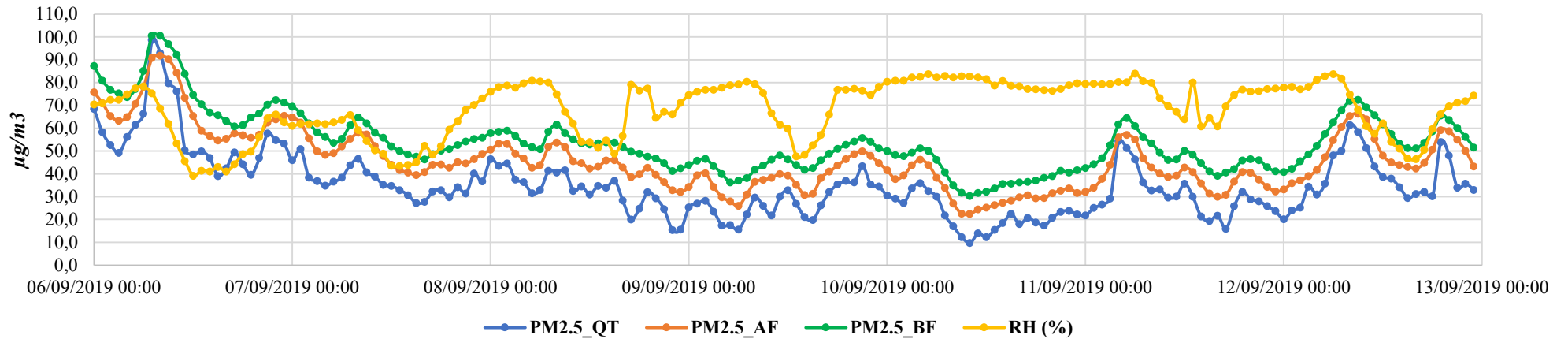
Trong khi đó, tại trạm Nguyễn Văn Cừ, số liệu quan trắc tương đối tốt nên hệ số tương quan hồi quy cũng thể hiện rõ rệt $R^2 = 0,803$ đối với nồng độ trước khi đồng hóa và $R^2 = 0,829$ sau khi đồng hóa trong khoảng thời gian mô phỏng của tháng 07/2017.

Trong thời gian của mô phỏng này, tại trạm Trung Yên và trạm Minh Khai kết quả nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình (cả trước và sau khi đồng hóa) cũng thể hiện sự tương quan tốt với số liệu quan trắc.

Tương đồng với kết quả mô phỏng đối với thời gian tháng 07 và tháng 09 năm 2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ, kết quả mô phỏng nồng độ $PM_{2.5}$ từ mô hình có độ trễ so với số liệu quan trắc.

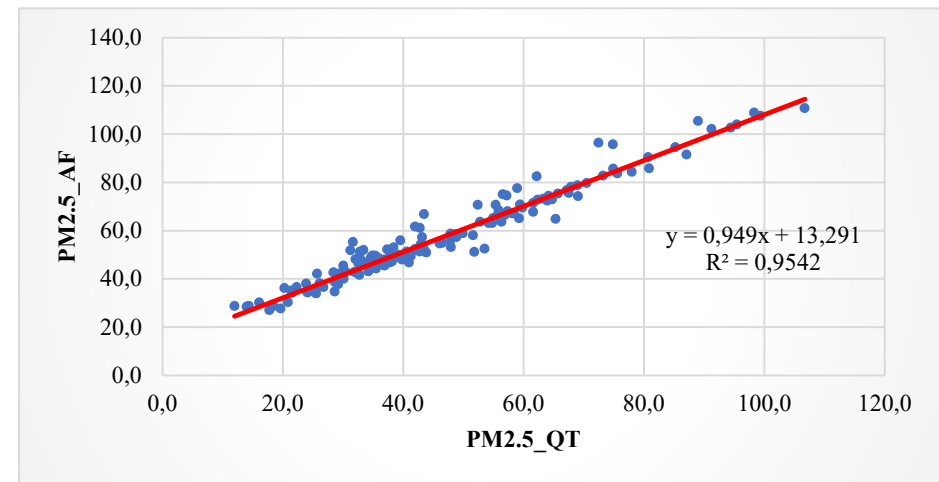
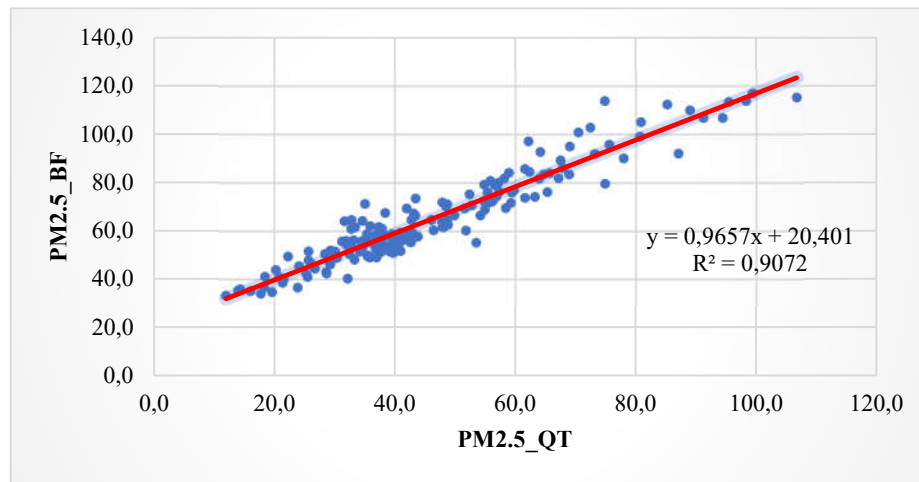
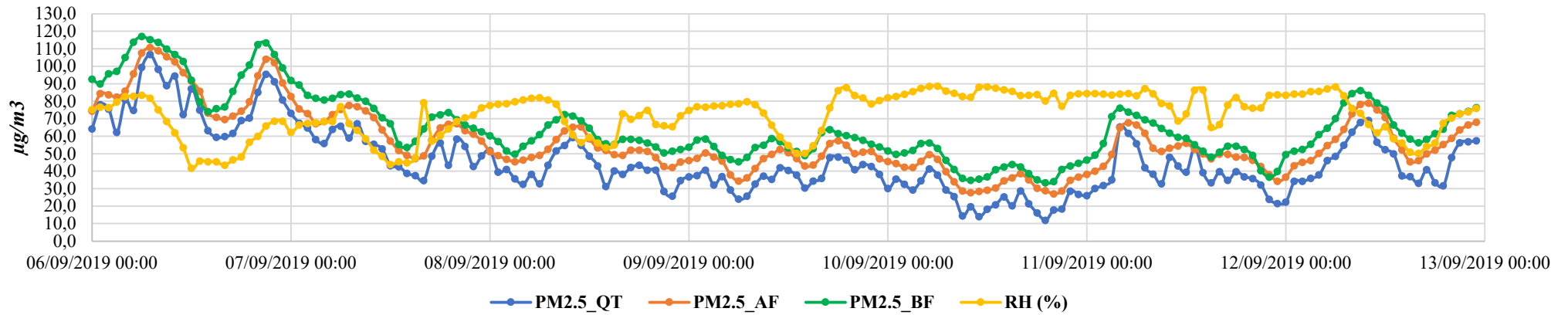
Kết quả nồng độ $PM_{2.5}$ sau khi đồng hóa số liệu AOD được trích xuất từ dữ liệu vệ tinh MODIS đã thể hiện rõ nét sự tác động tích cực đến sự ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trên toàn khu vực mô phỏng. Điều này rất có ý nghĩa trong việc ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ cho những khu vực chưa có trạm quan trắc, ngoài ra còn có thể sử dụng kết quả này trong việc xem xét tổng quát cho số liệu tại các trạm quan trắc.

TRẠM TRUNG YÊN - 09/2019



Hình 3.22: 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 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 tại trạm Trung Yên

TRẠM MINH KHAI - 09/2019



Hình 3.23: 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 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 tại trạm Minh Khai

Số liệu quan trắc nồng độ $PM_{2.5}$ tại trạm Trung Yên và trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019 được tổng hợp và thể hiện ở phần Phụ lục.

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 tại cả hai trạm quan trắc Trung Yên và Minh Khai, R^2 từ 0,922 lên 0,939 tại trạm Trung Yên và từ 0,907 lên 0,954 tại trạm Minh Khai vào tháng 09 năm 2019.

Kết quả này đã thể hiện rõ, cho thấy sự có mặt của các quan trắc từ vệ tinh (nghĩa là các giá trị AOD từ số liệu viễn thám MODIS) đã được xem xét, tích hợp, đồng hóa và tính toán trong quá trình mô phỏng.

Sau khi xem xét, so sánh kết quả mô phỏng ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ trước và sau khi đồng hóa trong thời gian thực hiện mô phỏng của các năm 2015, 2017 và 2019, kết quả nghiên cứu đã thể rõ số liệu độ sâu quang học AOD đã được đồng hóa trong kết quả mô phỏng, hoàn toàn thống nhất với điều kiện thời tiết, khí hậu theo từng mùa và có tác động tích cực đến kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$.

Sau khi thực hiện mô phỏng thành công với số liệu độ sâu quang học AOD đã được đồng hóa trong hệ thống mô hình WRF-CMAQ, kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ từ hệ thống mô hình được trích xuất và thực hiện so sánh hồi quy cùng số liệu nồng độ $PM_{2.5}$ từ các trạm quan trắc Nguyễn Văn Cừ, Trung Yên và Minh Khai. Kết quả sau khi chạy hàm hồi quy tuyến tính đã phản ánh sự mở rộng của quan hệ tuyến tính giữa hai tập dữ liệu, nghiên cứu đã rút ra một số kết luận, cụ thể như sau:

- Sự đồng hóa của số liệu vệ tinh AOD đã được chứng minh là hữu ích, giải quyết việc cải thiện kết quả ước tính nồng độ $PM_{2.5}$ nói riêng và các trường nồng độ hóa học nói chung. Sự kết hợp của việc sử dụng số liệu vệ tinh MODIS cung cấp độ bao phủ không gian tốt nhưng với độ phân giải thời gian hạn chế

(04 lần số liệu một ngày) nên việc đồng hóa số liệu của nhiều loại vệ tinh cũng cần được xem xét.

- Khi có nhiều số liệu hóa học hơn, việc đồng hóa các tập số liệu lớn từ các nguồn khác nhau (ví dụ, số liệu vệ tinh và trên mặt đất) vào CMAQ có thể dẫn đến những thách thức mới trong việc phát triển các quy trình đồng hóa số liệu tối ưu và hiệu quả. Tuy nhiên, việc đồng hóa nhiều loại số liệu không chỉ mang lại lợi ích cho biến mô hình tương ứng trực tiếp với số liệu được đồng hóa mà còn các biến mô hình khác chịu ảnh hưởng thông qua các tương tác hóa học khí tượng.

- Kết quả đồng hóa số liệu cho thấy nhiều khả năng trong lĩnh vực này dẫn đến những cải tiến không chỉ cho dự báo hóa học khí quyển, mà còn cho dự báo thời tiết.

- MODIS AOD đã được sử dụng để thực hiện mô phỏng trong nghiên cứu này thu được các ước tính $PM_{2.5}$ có độ chính xác tương đối với phạm vi bao phủ không gian đầy đủ.

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 R² tăng ít nhất từ 0,915 lên 0,917 đối với mô phỏng 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 phỏng từ 06/09/2017 đến 12/09/2017 tại trạm Trung Yên; R² tăng từ 0,929 lên 0,939 đối với mô phỏng từ 16/01/2015 đến 22/01/2015 tại trạm Nguyễn Văn Cừ; từ 0,803 lên 0,830 đối với mô phỏng từ 04/07/2017 đến 10/07/2017 tại trạm Nguyễn Văn Cừ; từ 0,368 lên 0,431 đối với mô phỏng từ 04/07/2017 đến 10/07/2017 tại trạm Trung Yên. Đối với các khoảng thời gian mô phỏng 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 phỏng 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 biến đổi cục bộ hóa 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_{2.5} 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2013), *QCVN 05:2013/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh*, Hà Nội.
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2013), *Thông tư số 24/2017/TT-BTNMT, Quy định kỹ thuật quan trắc môi trường*, Hà Nội.
3. Kiều Quốc Chánh (2011), “Tổng quan hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp và ứng dụng cho mô hình dự báo thời tiết WRF”, *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học tự nhiên và Công nghệ* 27, 1S (2011), tr. 17-28.
4. TSKH. Bùi Tá Long (2008), *Mô hình hóa môi trường*, Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.
5. Quốc Hội Việt Nam (2020), *Luật Bảo vệ môi trường*, số 72/2020/QH14 ngày 04 tháng 12 năm 2020.
6. Nguyễn Kỳ Phùng, Nguyễn Văn Tín, Nguyễn Quang Long (2017), “Xây dựng quy trình dự báo các trường khí tượng phục vụ mô hình dự báo chất lượng không khí cho khu vực Tp. Hồ Chí Minh”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, 681 - 9/2017, tr. 1-7.
7. Dương Hồng Sơn, Ngô Thọ Hùng (2012), *Ô nhiễm môi trường không khí*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
8. Dương Hồng Sơn (2012), *Mô hình ô nhiễm không khí và ứng dụng tại Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
9. PGS.TS. Dương Hồng Sơn (2013), *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của ô nhiễm không khí xuyên biên giới đến miền Bắc Việt Nam ứng dụng*

công nghệ tiên tiến, Bộ Tài nguyên và Môi trường.

10. Phan Văn Tân, Nguyễn Lê Dũng (2009), “Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên biển Đông”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 583, tr. 1-9.
11. Trần Tân Tiến, Nguyễn Thị Thanh (2011), “Đồng hóa dữ liệu vệ tinh MODIS trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ”, *Tạp chí Khoa học*, Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 27, tr. 90-95.
12. Tiêu chuẩn Việt Nam (1995), *TCVN 5067:1995, Chất lượng không khí - Phương pháp khối lượng xác định hàm lượng bụi*.
13. Tiêu chuẩn Việt Nam (2002), *TCVN 7171:2002, Chất lượng không khí - Xác định ôzôn trong không khí xung quanh - Phương pháp trắc quang tia cực tím*.
14. Tiêu chuẩn Quốc gia (2007), *TCVN 7725:2007, Không khí xung quanh - Xác định cacbon monoxit - Phương pháp đo phổ hồng ngoại không phân tán*.
15. Tiêu chuẩn Quốc gia (2007), *TCVN 7726:2007, Không khí xung quanh - Xác định sunfua dioxit - Phương pháp huỳnh quang cực tím*.
16. Tiêu chuẩn Quốc gia (2009), *TCVN 6137:2009, Không khí xung quanh - Xác định nồng độ khối lượng của nitơ điôxit - Phương pháp Griess-Saltzman cải biên*.
17. Trần Thị Vân, Nguyễn Phú Khánh, Hà Dương Xuân Bảo (2014), “Viễn thám độ dày quang học mô phỏng phân bố bụi PM₁₀ khu vực nội thành thành phố Hồ Chí Minh”, *Tạp chí Khoa học*, Đại học Quốc gia Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, 30 (2 (2014)), tr. 52-62.
18. Kiều Thị Xin, Lê Đức (2003), *Nghiên cứu cải tiến và áp dụng sơ đồ đồng hóa số liệu cho mô hình HRM dự báo mưa gây lũ ở đồng bằng sông Cửu*

Long, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Tiếng Anh

19. Brijesh Adhikary, Sarika Kulkarni, Alessio D'Allura, Youhua Tang, Tianfeng Chai, L. Ruby Leung, Y. Qian, C. E. Chung, V. Ramanathan, Gregory R Carmichael (2008), “A regional scale chemical transport modeling of Asian aerosols with data assimilation of AOD observations using optimal interpolation technique”, *Atmospheric Environment*, 42 (37), pp. 8600-8615.
20. Klaas Folkert Boersma, Daniel J. Jacob, Eric Bucsela, A. E. Perring, R. Dirksen, Ronald van der A, Robert M. Yantosca, Rokjin J. Park, Mark Wenig, T. H. Bertram, R. C. Cohen (2008), “Validation of OMI tropospheric NO₂ observations during INTEX-B and application to constrain NO_x emissions over the eastern United States and Mexico”, *Atmospheric Environment*, 42 (19), pp. 4480-4497.
21. Hervé Boisgontier, Vivien Mallet, Jean-Paul Berroir, Marc Bocquet, Isabelle Herlin, Bruno Sportisse (2008), “Satellite data assimilation for air quality forecast”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16 (10), pp. 1541-1545, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.01.008>.
22. Peter M. Caldwell, C. S. Bretherton, M. D. Zelinka, S. A. Klein, B. D. Santer, B. M. Sanderson (2014), “Statistical significance of climate sensitivity predictors obtained by data mining”, *Geophysical Research Letters*, 41 (5), pp. 1803-1808, <https://doi.org/10.1002/2014GL059205>.
23. W. H. Carnahan, P. W. Mausel, G. P. Zhou (1984), “Evaluation of atmospheric particulate concentrations derived from analysis of ratio thematic mapper data”, 10th Int. Symp., *Machine Processing of Remotely*

Sensed data, pp. 235-243.

24. Tianfeng Chai, Gregory R. Carmichael, Youhua Tang, Adrian Sandu, Michael Hardesty, Peter Pilewski, Sallie Whitlow, Edward V. Browell, Melody A. Avery, Philippe Nédélec, John T. Merrill, Anne M. Thompson, Eric Williams (2007), “Four-dimensional data assimilation experiments with International Consortium for Atmospheric Research on Transport and Transformation ozone measurements”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112 (D12), doi:10.1029/2006jd007763.
25. Kieu Quoc Chanh, Truong, N.M., Mai, H.T., and Ngo-Duc, T. (2012), “Sensitivity of the track and intensity forecasts of typhoon Megi (2010) to Satellite-Derived atmosphere motion vectors with the Ensemble Kalman filter”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29 (12), pp. 1794-1810.
26. Kieu Quoc Chanh, Pham Thi Minh, Hoang Thi Mai (2013), “An application of the multi-physics Ensemble Kalman Filter to typhoon forecast”, *Pure and Applied Geophysics*, 171 (7), pp. 1473-1497.
27. Yunping Chen, Weihong Han, Shuzhong Chen, Ling Tong (2014), “Estimating ground-level PM_{2.5} concentration using Landsat 8 in Chengdu, China”, *Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation V*, 9259 (17), DOI:10.1117/12.2068886.
28. Gongbo Chen, Shanshan Li, Luke D. Knibbs, N. A. S. Hamm, Wei Cao, Tiantian Li, Jianping Guo, Hongyan Ren, Michael J. Abramson, Yuming Guo (2018), “A machine learning method to estimate PM_{2.5} concentrations across China with remote sensing, meteorological and land use information”, *Science of The Total Environment*, 636, pp. 52-60.

29. Emil M. Constantinescu, Adrian Sandu, Tianfeng Chai, Gregory R Carmichael (2007), “Assessment of ensemble-based chemical data assimilation in an idealized setting”, *Atmospheric Environment*, 41(1), pp. 18-36, DOI:10.1016/j.atmosenv.2006.08.006.
30. François-Xavier Le Dimet, Olivier Talagrand (1986), “Variational algorithms for analysis and assimilation of meteorological observations: Theoretical aspects”, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 38 (2), pp. 97-110, DOI:10.3402/tellusa.v38i2.11706.
31. Jana Ďoubalová, Jan Horálek, Roman Juras, Ondřej Vlček (2018), *Using Sentinel-5P Data to Improve Air Quality Maps*, Project: SAMIRA - Satellite based Monitoring Initiative for Regional Air quality, DOI: 10.13140/RG.2.2.11321.01124.
32. Hendrik Elbern, Hauke Schmidt, Adolf Ebel (1997), “Variational data assimilation for troospheric chemistry modeling”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102 (D13), pp. 15967-15985.
33. Hendrik Elbern, Hauke Schmidt (2001), “Ozone episode analysis by fourdimensional variational chemistry data assimilation”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106 (D4), pp. 3569-3590, doi:10.1029/2000jd900448.
34. Geir Evensen (2009), *Data Assimilation - The Ensemble Kalman Filter*, Springer.
35. Klaas Folkert Boersma, Braak, R., Ronald van der A (2011), *Dutch OMI NO₂ (DOMINO) data product v2.0: HE5 data file user manual*, available at:https://d37onar3vnbj2y.cloudfront.net/static/docs/OMI_NO2_HE5_2_0_2011.pdf.
36. Jean-Yves Gac, D. Tanré, Coline Devaux, Maurice Herman, Richard Santer (1988), “Radiative properties of desert aerosols by optical

- ground-based measurements at solar wavelengths”, *Journal of Geophysical Research*, 93 (D11), pp. 14223-14231, DOI:10.1029/JD093iD11.
37. Pierre Gauthier, Monique Tanguay, Stéphane Laroche, Simon Pelleri, Josée Morneau (2007), “Extension of 3DVAR to 4DVAR: Implementation of 4DVAR at the Meteorological Service of Canada”, *Journals American Meteorological Society*, 135 (6), pp. 2339-2354, <https://doi.org/10.1175/MWR3394.1>.
 38. Michael Ghil, Paola Malanotte-Rizzoli (1991), “Assimilation in Meteorology and Oceanography”, *Advances in Geophysics*, 33, pp. 141-266, DOI:10.1016/S0065-2687(08)60442-2.
 39. Tianyi Gou, Adrian Sandu (2011), “Continuous versus discrete advection adjoints in chemical data assimilation with CMAQ”, *Atmospheric Environment*, 45 (28), pp. 4868-4881, DOI:10.1016/j.atmosenv.2011.06.015.
 40. Nuno Grosso, Francisco Ferreira, Sandra Mesquita (2007), “Chapter 3.1 Improvement in particles (PM₁₀) urban air quality mapping interpolation using remote sensing data”, *Developments in Environmental Science*, 6, pp. 265-274, [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)06031-7](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)06031-7).
 41. Amir Hakami, Daven K. Henze, John H. Seinfeld, Kumares Singh, Adrian Sandu, Soontae Kim, Byun, Qinbin Li (2007), “The Adjoint of CMAQ”, *Environmental Science & Technology*, 41 (22), pp. 7807-7817, doi:10.1021/es070944p.
 42. Tony Hey, Stewart Tansley, Kristin Tolle (2009), *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*, Microsoft Research, ISBN: 978-0-9825442-0-4, RedMond, Washington.
 43. Min Huang, Gregory R. Carmichael, Tianfeng Chai, Robert Bradley

- Pierce, Samuel J Oltmans, D. A. Jaffe, Kay Bowman, Ajith Kaduwela, C. Cai, Scott Spak, A. J. Weinheimer, L. G. Huey, Glenn S. Diskin. (2013), “Impacts of transported background pollutants on summertime western US air quality: model evaluation, sensitivity analysis and data assimilation”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13 (1), pp. 359-391, doi:10.5194/acp-13- 359-2013.
44. Vincent Huijnen, Henk Eskes, Bjarne Amstrup, Robert Bergström, Klaas Folkert Boersma, H. Elbern, Johannes Flemming, Gilles Foret, Elmar Friese, A. Gross, M. D'Isidoro, Ioannis Kioutsioukis, Alberto Maurizi, Dimitris Melas, Vincent-Henri Peuch, Anastasia Poupkou, Lennart Robertson, Mikhail Sofiev, Olaf Stein, A. Strunk, A. Valdebenito, C. Zerefos, D. Zyryanov (2010), “Comparison of OMI NO₂ tropospheric columns with an ensemble of global and European regional air quality models”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10 (7), pp. 3273-3296, doi:10.5194/acp-10-3273-2010.
45. Ioana Ionel, Francisc Popescu (2010), “Methods for Online Monitoring of Air Pollution Concentration”, *Air Quality*, Ashok Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-131-2, InTech, DOI: 10.5772/9754.
46. Dmitry V. Ionov, Florence Goutail, J. P. Pommereau, Ariane Bazureau, Esko Kyrö, Thierry Portafaix, Gerhard Held, P. Ericksen, V. Dorokhov (2006), “Ten Years of NO₂ Comparisons Between Ground-Based SAOZ and Satellite Instruments (GOME, Sciamachy, OMI)”, *Proceedings of Atmospheric Science Conference*, edited by Lacoste, H. and Ouwehand, L., no. ESA SP-628 in European Space Agency, ESRIN, Frascati Italy.
47. Qinjian Jin, Jiangfeng Wei, Bing Pu, Zong-Liang Yang, Sagar Prasad Parajuli (2018), “High summertime Aerosol loadings over the Arabian sea and their transport pathways”, *Journal of Geophysical Research*:

- Atmospheres*, 123 (18), pp. 10.568-10.590,
<https://doi.org/10.1029/2018JD028588>.
48. Eugenia Kalnay, University of Maryland, College Park (2003), *Atmospheric modelling, data assimilation and predictability*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
49. Anuj Karpatne, Gowtham Atluri, James Faghmous, Michael Steinbach, Arindam Banerjee, Auroop Ganguly, Shashi Shekhar, Nagiza Samatova, Vipin Kumar (2017), “Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 29 (10), pp. 2318-2331.
50. Christoph A. Keller, Mathew J. Evans, J. Nathan Kutz, Steven Pawson (2017), “Machine learning and air quality modeling”, *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 4570-4576.
51. Jhoon Kim, Mijin Kim, Myungje Choi (2017), “Monitoring Aerosol Properties in East Asia from Geostationary Orbit: GOCI, MI and GEMS”, *Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective*, 16, Springer International Publishing, pp. 323-333,
https://doi.org/10.1007/978-3-319-59489-7_15.
52. Youngjoo Kim, Hyochoong Bang (2018), *Introduction to Kalman Filter and Its Applications*, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.80600.
53. Andrew Knox, Greg J. Evans, Colin J. Lee, Jeffrey R. Brook (2012), *Air Pollution Monitoring and Sustainability*. In: Meyers R.A. (eds) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, NY.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_373.
54. E. R. Kursinski, G. A. Hajj, J. T. Schofield, R. P. Linfield, K. R. Hardy (1997), “Observing Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System”, *Journal of*

- Geophysical Research: Atmospheres*, 102 (D19), pp. 23.429-23.465, <https://doi.org/10.1029/97JD01569>.
55. L. N. Lamsal, Randall Martin, A Van Donkelaar, Martin Steinbacher, E. A. Celarier, Eric Bucsela, Edward Dunlea, Joseph P Pinto (2008), “Ground-level nitrogen dioxide concentrations inferred from the satellite-borne Ozone Monitoring Instrument”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113 (D16308), <https://doi.org/10.1029/2007JD009235>.
56. Zhiquan Liu, Quanhua Liu, Hui-Chuan Lin, Craig S. Schwartz, Yen-Huei Lee, Tijian Wang (2011), “Three-dimensional variational assimilation of MODIS aerosol optical depth: Implementation and application to a dust storm over East Asia”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D23206), <https://doi.org/10.1029/2011JD016159>.
57. Andrew C. Lorenc (1986), “Development of an Operational Variational Assimilation Scheme”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75 (1B), pp. 339-346, https://doi.org/10.2151/jmsj1965.75.1B_339.
58. Andrew C. Lorenc (2003), “The potential of the ensemble Kalman filter for NWP - a comparison with 4D-Var”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 129 (595), pp. 3183-3203, <https://doi.org/10.1256/qj.02.132>.
59. Edward N. Lorenz (1963), “Deterministic Nonperiodic Flow”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20 (2), pp. 130-141, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2).
60. Sylvain Mailler, Laurent Menut, Dmitry Khvorostyanov, Myrto Valari (2017), “CHIMERE-2017: From urban to hemispheric chemistry-transport modeling”, *Geoscientific Model Development*, 10 (6), pp.

- 2.397-2.423, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2397-2017>.
61. Randall Martin, Washington University in St. Louis (2008), “Satellite remote sensing of surface air quality”, *Atmospheric Environment*, 42 (34), pp. 7.823-7.843.
 62. Toshihisa Matsui, Sonia M. Kreidenweis, Roger A. Pielke Sr., Bret Schichtel, Hongbin Yu, Mian Chin, D. Allen Chu, Dev Niyogi (2004), “Regional comparison and assimilation of GOCART and MODIS aerosol optical depth across the eastern U.S”, *Geophysical Research Letters*, 31 (21), doi:10.1029/2004GL021017.
 63. Laurent Menut, Bertrand Bessagnet (2019), “What can we expect from data assimilation for air quality forecast? Part I: Quantification with academic test cases”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36, pp. 269-279, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-18-0002.1>.
 64. K. M. Mok, Miranda A. I., Leong K. U., Borrego C. (2008), “A Gaussian puff model with optimal interpolation for air pollution modelling assessment”, *International Journal of Environment and Pollution*, 35 (1), pp. 111-137.
 65. George Ohring, Joseph Otterman, Joachim Joseph (1973), “Techniques for air pollution observation from space”, *Water Air Soil Pollut*, 2, pp. 191-217, <https://doi.org/10.1007/BF00655697>.
 66. Mariusz Pagowski, Georg A. Grell, Stuart A. McKeen, Steven Peckham, D. Devenyi (2010), “Three-dimensional variational data assimilation of ozone and fine particulate matter observations: Some results using the Weather Research And Forecasting - Chemistry model and grid-point statistical interpolation”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 136 (653), pp. 2013-2024, <https://doi.org/10.1002/qj.700>.
 67. Jean Pailleux (1989), *Data assimilation: optimum interpolation*

approach/variational approach, ECMWF, Shinfield Park, Reading, <https://www.ecmwf.int/node/11477>.

68. Jiongming Pang, Zhiquan Liu, Xuemei Wang, Jamie Bresch, Junmei Ban, Dan Chen, Jhoon Kim, (2018), “Assimilating AOD retrievals from GOCI and VIIRS to forecast surface PM_{2.5} episodes over Eastern China”, *Atmospheric Environment*, 179 April 2018, pp. 288-304, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.011>.
69. Soon-Young Park, Dong-Hyeok Kim, Soon-Hwan Lee, Hwa Woon Lee (2016), “Variational data assimilation for the optimized ozone initial state and the short-time forecasting”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, pp. 3631-3649, <https://doi.org/10.5194/acp-16-3631-2016>.
70. Vladimir Penenko, Alexander Baklanov, Elena Tsvetova (2002), “Methods of sensitivity theory and inverse modeling for estimation of source parameters”, *Future Generation Computer Systems*, 18 (5), pp. 661-671, doi:10.1016/S0167-739X(02)00031-6.
71. V. Rakesh, Randhir Singh, Prakash C. Joshi (2009), “Intercomparison of the performance of MM5/WRF with and without satellite data assimilation in short-range forecast applications over the Indian region”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 105 (3), pp. 133-155.
72. Christian Rocken, Teresa Van Hove, Randolph Ware (1997), “Near real-time GPS sensing of atmospheric water vapor”, *Geophysical Research Letters*, 24 (24), pp. 3221-3224, <https://doi.org/10.1029/97GL03312>.
73. Laurence Rouil, Cécile Honoré, Robert Vautard, Matthias Beekmann, Bertrand Bessagnet, Laure Malherbe, Frédéric Meleux, Anne Dufour, Christian Elichegaray, Jean-Marie Flaud, Laurent Menut, Daniel Martin, Aline Peuch, Vincent-Henri Peuch, Nathalie Poisson (2009), “Prev'air: An Operational Forecasting and Mapping System for Air Quality in

- Europe”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90 (1), pp. 73-84, DOI:10.1175/2008BAMS2390.1.
74. Ashish Routray, U. C. Mohanty, Dev Niyogi, S. R. H. Rizvi, Krishna K. Osuri (2008), “Simulation of heavy rainfall events over Indian monsoon region using WRF-3DVAR data assimilation system”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 106, pp. 107-125, DOI:10.1007/s00703-009-0054-3.
75. Adrian Sandu, Tianfeng Chai (2011), “Chemical data assimilation - An overview”, *Atmosphere*, 2 (3), pp. 426-463, <https://doi.org/10.3390/atmos2030426>.
76. D. Schaub, Dominik Brunner, Klaas Folkert Boersma, Keller J., Folini D., Brigitte Buchmann, Harald Berresheim, Johannes NM Staehelin (2007), “SCIAMACHY tropospheric NO₂ over Switzerland: estimates of NO_x lifetimes and impact of the complex Alpine topography on the retrieval”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7 (23), pp. 5971-5987, <https://doi.org/10.5194/acp-7-5971-2007>.
77. John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis (2016), *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, Wiley, 2nd Edn.
78. Nicolas Sifakis, Deschamps (1992), “Mapping of Air Pollution Using SPOT Satellite Data”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58 (10), pp. 1433-1437.
79. Nicolas Sifakis, Adrianos Retalis (2010), “Urban aerosol mapping over Athens using the differential textural analysis (DTA) algorithm on MERIS-ENVISAT data”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65 (1), pp. 17-25, DOI:10.1016/j.isprsjprs.2009.08.001.
80. J. D. Silver, J. Brandt, M. Hvidberg, J. Frydendall, J. H. Christensen (2013), “Assimilation of OMI NO₂ retrievals into the limited area

- chemistry transport model DEHM (V2009.0) with a 3-D OI algorithm”, *Geoscientific Model Development*, 6 (1), pp. 1-16, doi:10.5194/gmd-6-1-2013.
81. Istvan Szunyogh, Eric J. Kostelich, Gyorgyi Gyarmati, Eugenia Kalnay, Brian R. Hunt, Edward Ott, Elizabeth Satterfield & James A. Yorke (2008), “A local ensemble transform Kalman filter data assimilation system for the NCEP global model”, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 60 (1), pp. 113-130, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2007.00274.x>.
 82. Olivier Talagrand, Philippe Courtier (1987), “Variational Assimilation of Meteorological Observations With the Adjoint Vorticity Equation. I: Theory”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 113 (478), pp. 1.311-1.328, doi:10.1002/qj.49711347812.
 83. M. Vieno, M. R. Heal, M. M. Twigg, I. A. MacKenzie, C. F. Braban, J. J. N. Lingard, S. Ritchie, R. C. Beck, A. Moring, R. Ots, C. F. Di Marco, E. Nemitz, M. A. Sutton, S. Reis (2016), “The UK particulate matter air pollution episode of March–April 2014: more than Saharan dust”, *Environmental Research Letters*, 11(4):044004, DOI:10.1088/1748-9326/11/4/044004.
 84. Lin Wu, V. Mallet, M. Bocquet, B. Sportisse (2008), “A comparison study of data assimilation algorithms for ozone forecasts”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 133 (D20), doi:10.1029/2008JD009991.
 85. V. F. Xavier, A. Chandrasekar, R. Singh, B. Simon (2006), “The impact of assimilation of MODIS data for the prediction of a tropical low-pressure system over India using a mesoscale model”, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (20), pp. 4.655-4.676,

<https://doi.org/10.1080/01431160500207302>.

86. Zou Xiaolei, Vandenberghe F, Wang B, Gorbunov ME, Kuo Y-H, Sokolovskiy S, Chang JC, Sela JG, Anthes R (1999), “A ray-tracing operator and its adjoint for the use of GPS/MET refraction angle measurements”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104 (D18), pp. 22.301-22.318, <https://doi.org/10.1029/1999JD900450>.
87. Zou Xiaolei, Wang B, H. Liu, R. A. Anthes, T. Matsumura, Y.-J. Zhu (2000), “Use of GPS/MET refraction angles in 3-D variational analysis”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126 (570), pp. 3.013-3.040, <https://doi.org/10.1002/qj.49712657003>.
88. Jian Zeng, Bruce Vollmer, Dana Ostrenga, Irina Gerasimov (2019), *Air Quality Satellite Monitoring by TROPOMI on Sentinel-5P*, AGU 2018 Fall Meeting, Washington, DC.
89. D. Zhang, J. Tang, G. Shi, T. Nakazawa, S. Aoki, S. Sugawara, M. Wen, S. Morimoto, P. K. Patra, T. Hayasaka 2008, “Temporal and Spatial Variations of the Atmospheric CO₂ Concentration in China”, *Geophysical Research Letters*, 35 (3): L03801, doi:10.1029/2007GL032531.
90. Chun Zhao, Yuhang Wang (2009), “Assimilated inversion of NO_x emissions over east Asia using OMI NO₂ column measurements”, *Geophysical Research Letters*, 36 (6), L06805, doi:10.1029/2008GL037123.
91. The Community Modeling and Analysis System Institute for the Environment University of North Carolina (2010), *Operational Guidance for the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System Version 5.3*, North Carolina: Chapel Hill.
92. AS/NZS 3580.9.7:2009 (2009), *Methods for sampling and analysis of*

ambient air - Determination of suspended particulate matter - Dichotomous sampler (PM₁₀, coarse PM and PM_{2.5}) - Gravimetric method, Australian/New Zealand Standard.

93. Georgia Sfakianaki. University of Crete, School of Sciences and Engineering, Department of Mathematics and Applied Mathematics (2016), *Data Assimilation Methods*, Heraklion.
94. Maria Isabel Ribeiro, Institute for Systems and Robotics (2004), *Kalman and Extended Kalman Filters: Concept, Derivation and Properties*, © M. Isabel Ribeiro.

Website:

<https://www.epa.gov/air-quality-management-process/managing-air-quality-ambient-air-monitoring>

<http://www.bcairquality.ca/health/index.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html>

<http://gmao.gsfc.nasa.gov/forecasts/>

<https://www.fs.usda.gov/science-technology/water-air-soil>

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH 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_{2.5} 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_{2.5} 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_{2.5} khu vực Hà Nội”, *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, 16, IV-2020, ISSN 2525 - 2495.

PHỤ LỤC

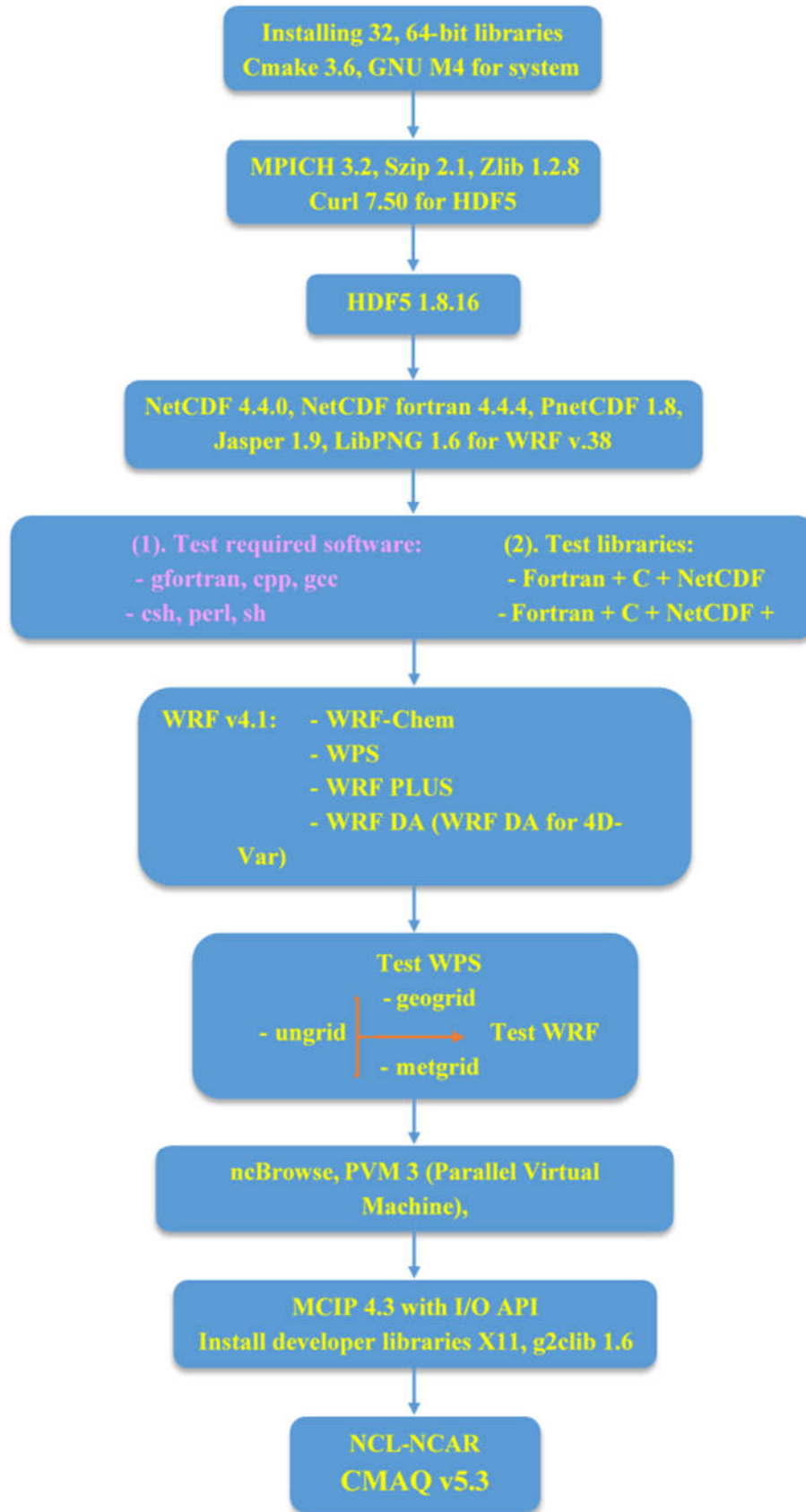
Trước khi tiến hành các mô phỏng thực nghiệm của luận án, các hàm thư viện, các module của hệ thống mô hình WRF-CMAQ cần phải được cài đặt trên máy tính với hệ điều hành mã nguồn mở Ubuntu 16.04 và được tóm tắt trong *Hình PL.01*, kết quả cài đặt là các thư viện và thư mục làm việc.

Đầu tiên cần cài đặt hệ điều hành Ubuntu 16.04 x64 (64 bit - phục vụ cho việc xử lý các tệp tin có dung lượng lớn hơn 2 GB), các trình biên dịch Cmake, GNU và M4 cho hệ thống. Các bộ thư viện MPICH, Szip, Zlib, Curl là yêu cầu cần thiết cho bộ lưu trữ và quản lý dữ liệu hiệu suất cao HDF (HDF là một mô hình dữ liệu, thư viện và định dạng tệp để lưu trữ và quản lý dữ liệu).

Tiếp theo bộ thư viện NetCDF (Network Common Data Form) là một tập hợp các thư viện phần mềm và các định dạng dữ liệu độc lập hỗ trợ việc tạo, truy cập và chia sẻ dữ liệu khoa học cùng các thư viện xử lý hình ảnh Jasper, LibPNG cũng cần được cài đặt trước khi cài đặt hệ thống mô hình WRF.

Mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết (WRF) được cài đặt với các module WPS, WRF_PLUS, WRFDA phục vụ cho việc chuẩn bị nguồn số liệu đầu vào cho mô hình chất lượng không khí cộng đồng đa quy mô CMAQ. Trong hệ thống này module phục vụ cho quá trình đồng hóa số liệu là WRFDA.

Bộ xử lý Giao diện Khí tượng - Hóa học (MCIP - Meteorology-Chemistry Interface Processor) nhận đầu ra từ mô hình WRF để chuẩn bị các tệp khí tượng được sử dụng trong hệ thống mô hình CMAQ được cài đặt cùng hệ thống mô hình CMAQ.



Hình PL.01: Sơ đồ các bước cài đặt hệ thống WRF-CMAQ trên Ubuntu 16.04

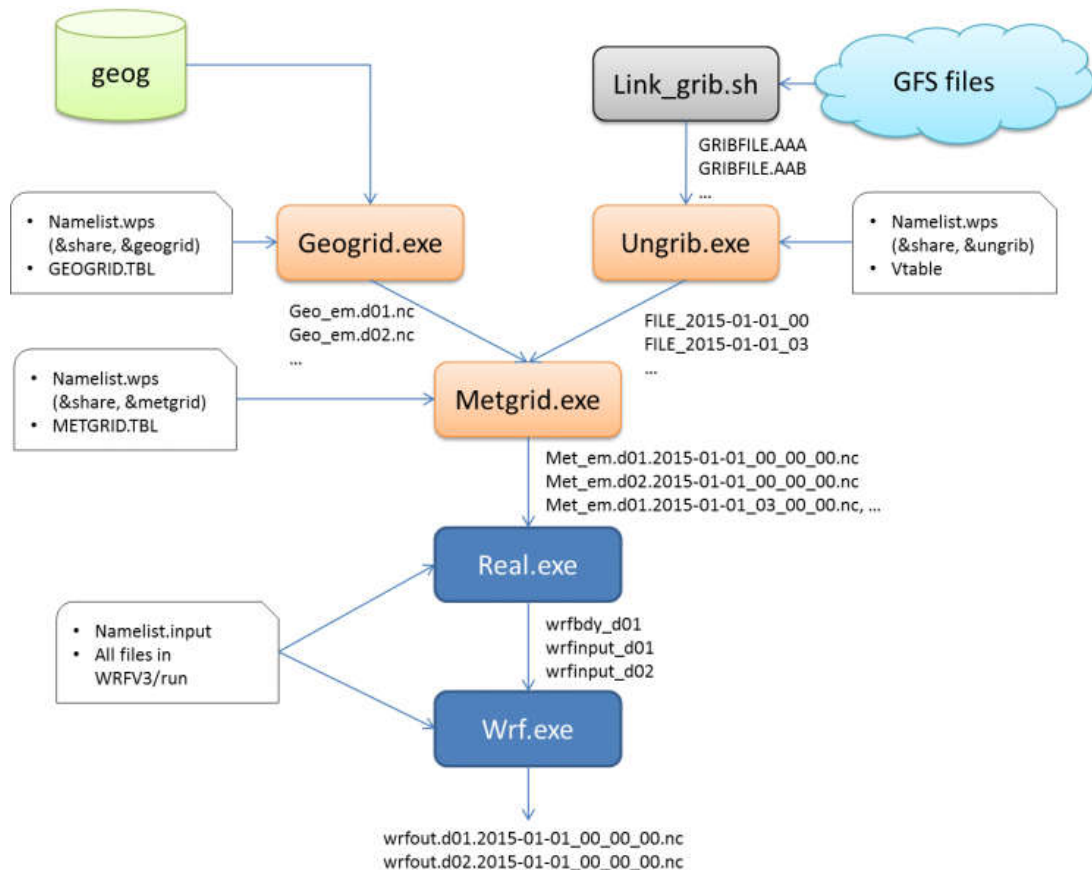
1. Quy trình các bước thực hiện mô phỏng

1.1. Hệ thống tiền xử lý

Về cơ bản có ba bước chính để chạy Hệ thống tiền xử lý WPS:

1. Xác định miền mô hình domain và nest với **geogrid**;
2. Trích xuất số liệu khí tượng từ các bộ số liệu GRIB cho giai đoạn (thời gian) mô phỏng với **ungrib**;
3. Nội suy số liệu khí tượng theo chiều ngang cho các miền mô phỏng với **metgrid**.

Khi nhiều mô phỏng được chạy cho cùng một miền mô phỏng, chỉ cần thực hiện bước đầu tiên (*geogrid*) một lần; sau đó, chỉ cần xử lý số liệu thay đổi theo thời gian cho mỗi mô phỏng bằng các bước hai và ba. Dưới đây, các chi tiết của từng bước trong ba bước được giải thích (*Hình PL.02, ngày tháng trong hình có tính chất minh họa*).



Hình PL.02: Sơ đồ hệ thống tiền xử lý WPS và hệ thống WRF

Hệ thống tiền xử lý WPS (WRF Pre-Processing System) bao gồm một bộ ba chương trình độc lập (*geogrid.exe*, *ungrib.exe*, *metgrid.exe*) có vai trò chung là chuẩn bị số liệu đầu vào cho chương trình *real.exe* thực hiện các mô phỏng số liệu thực. Mỗi chương trình thực hiện một giai đoạn chuẩn bị: *geogrid.exe* định nghĩa các miền mô phỏng (domain và nest) và nội suy số liệu địa lý tĩnh vào lưới; *ungrib.exe* trích xuất các số liệu trường khí tượng từ các tập tin định dạng GRIB và *metgrid.exe* nội suy theo phương ngang các trường khí tượng được giải nén bởi *ungrib.exe* vào lưới mô phỏng (domain) được xác định bởi *geogrid.exe*. Công việc nội suy các trường khí tượng theo chiều dọc cho WRF hiện được thực hiện trong chương trình *real.exe*.

Sản phẩm sau khi chạy chương trình đầu tiên của hệ thống tiền xử lý *geogrid.exe* là các tập tin (số lượng tập tin này phụ thuộc vào số lượng miền tính của mô phỏng do người sử dụng xác định trong tập *namelist.wps*) có tên là tập *geo_em.dxx.nc* và *geo_em.dxx.nc* trong thư mục thực thi của hệ thống mô hình WRF-CMAQ. Trong trường hợp của nghiên cứu này là 02 (hai) tập, đại diện cho 02 miền tính được xác định.

Trường GREENFRAC trong số liệu ở trên được xác định trong GEOGRID.TBL, do đó số liệu của bức xạ hoạt động quang hợp (Fraction of Photosynthetically Active Radiation - FPAR) từ số liệu MODIS sẽ được sử dụng như là một phần thay thế cho thảm thực vật. Những số liệu này phải được cung cấp bởi người dùng làm đầu vào cho CCTM.

Kết quả của hệ thống WPS là một loạt các file làm đầu vào cho chương trình Phân tích khách quan là OBSGRID. Mục tiêu của phân tích khách quan trong mô hình khí tượng là cải thiện các phân tích khí tượng (phỏng đoán đầu tiên) trên lưới mesoscale bằng cách kết hợp thông tin từ các quan trắc. Theo truyền thống, những quan trắc này là những quan trắc “trực tiếp” về nhiệt độ, độ ẩm và gió từ các báo cáo bề mặt. Khi kỹ thuật viễn thám đã phát triển, ngày càng có nhiều quan trắc “gián tiếp” cho các nhà nghiên cứu và người lập mô

hình hoạt động. Sử dụng hiệu quả các quan trắc gián tiếp này để phân tích khách quan là một nhiệm vụ tương đối quan trọng. Các phương pháp thường được sử dụng cho các quan trắc gián tiếp bao gồm các kỹ thuật biến đổi ba chiều hoặc bốn chiều (“3DVAR” và “4DVAR”) tương ứng.

1.2. Loại bỏ sai số thô

Mục đích của loại bỏ sai số thô nhằm khử các nhiễu loạn của điều kiện ban đầu trong gói số liệu được đưa vào mô phỏng. Các phân tích đầu vào cho OBSGRID như phỏng đoán đầu tiên là phân tích đầu ra từ phần METGRID của gói WPS. Phân tích khách quan OBSGRID được chạy trực tiếp sau *metgrid.exe* và sử dụng các tệp đầu ra *met_em** từ *metgrid.exe* làm đầu vào.

Các khả năng của phân tích khách quan OBSGRID bao gồm:

- Lựa chọn phân tích mục tiêu theo kiểu Cressman hoặc Multiquadric.
- Các thử nghiệm khác nhau để sàng lọc số liệu quan trắc nghi ngờ.
- Thủ tục nhập số liệu không có thật (Procedures to input bogus data).
- Mở rộng lưới: OBSGRID có khả năng cắt miền mô hình đầu vào xuống trên đầu ra. Tính năng này cho phép bạn kết hợp số liệu từ bên ngoài lưới dự định của mình để cải thiện các phân tích gần ranh giới. Để sử dụng tính năng này, người dùng phải tạo một miền lớn hơn miền dự định cuối cùng khi chạy WPS.

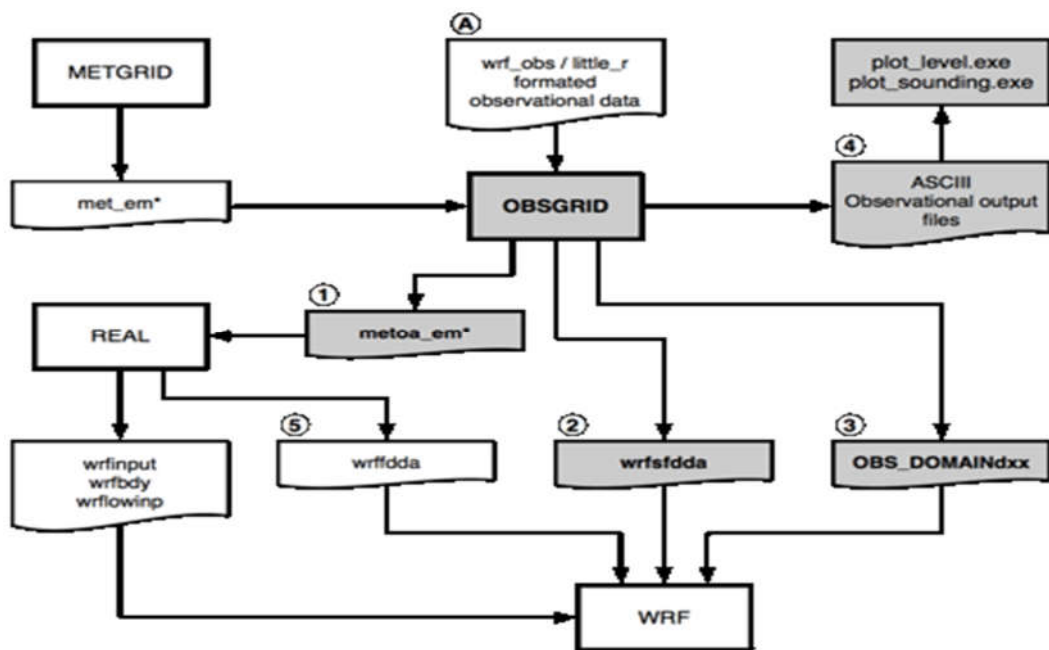
Đầu ra từ các chương trình phân tích khách quan có thể được sử dụng để:

- Cung cấp các trường cho các điều kiện ban đầu và ranh giới (1 - trong Flow chart - *Hình PL.03*). Lưu ý rằng các tệp *metoa_em** được định dạng giống hệt với định dạng của các tệp *met_em** từ *metgrid.exe*. Sự khác biệt duy nhất là các trường trong các tệp này là được kết hợp thông tin quan trắc.

- Cung cấp các trường bề mặt cho FDDA phân tích bề mặt (2 - trong Flow chart - *Hình PL.03*). Lưu ý, khi sử dụng tệp *wrfsfdda* làm đầu vào cho WRF, bạn cũng nên sử dụng tệp fdda 3-D *wrffdda* (5 - trong Flow chart - *Hình PL.03*) - là đầu ra tùy chọn được tạo khi chạy *real.exe* làm đầu vào cho WRF.

- Cung cấp số liệu quan trắc nút lưới (observational nudging) (3 - trong Flow chart - *Hình PL.03*). Lưu ý: kể từ phiên bản 3.1.1 của OBSGRID, tệp này có thể được đọc trực tiếp bằng mã quan trắc nút lưới (observational nudging) và không còn cần phải chuyển qua tập lệnh bổ sung.

- Cung cấp đầu ra ASCII (4 - trong Flow chart - *Hình PL.03*). Các tệp này cung cấp thông tin liên quan đến các quan trắc được sử dụng và các cờ kiểm soát chất lượng được chỉ định. Thông tin trong các tệp này cũng có thể được vẽ với các tiện ích vẽ đồ thị được cung cấp.



Hình PL.03: Sơ đồ của quá trình phân tích khách quan

Lý do chính để thực hiện phân tích khách quan trên một miền nest là nếu người dùng có sẵn các quan trắc với độ phân giải ngang lớn hơn một chút so với độ phân giải của miền domain của người dùng.

Vấn đề chính được đưa ra bằng cách thực hiện phân tích khách quan trên một miền nest là sự không nhất quán trong các điều kiện ban đầu giữa miền domain và nest. Các quan trắc bên ngoài miền nest sẽ được sử dụng trong phân tích miền domain, nhưng bị loại bỏ trong phân tích miền nest. Với các quan trắc khác nhau được sử dụng ngay tại một ranh giới nest, người dùng có thể có

được các phân tích rất khác nhau. OBSGRID cũng yêu cầu quan trắc bổ sung (A - trong Flow chart - *Hình PL.03*) làm đầu vào.

Phân tích khách quan OBSGRID đọc các số liệu quan trắc được cung cấp bởi người dùng trong các tệp tin định dạng ASCII. Điều này cho phép người dùng thích nghi số liệu của họ để sử dụng như đầu vào cho OBSGRID.

Kết quả sau khi thực hiện phân tích khách quan OBSGRID là một loạt các tệp tin có thể được sử dụng làm đầu vào cho hệ thống mô hình WRF do người dùng tùy chọn.

*Các tệp tin metoa_em**: Các tệp tin phân tích cuối cùng ở mức độ bề mặt và áp lực. Tạo tệp này là mục tiêu chính của việc chạy OBSGRID. Các tệp này hiện có thể được sử dụng thay cho các tệp met_em* từ WPS để tạo các điều kiện ban đầu và ranh giới cho WRF. Để sử dụng các tệp này khi chạy *real.exe*, bạn có thể thực hiện một trong hai điều sau:

1. Đổi tên hoặc liên kết các tệp *metoa_em** trở lại *met_em**.

2. Sử dụng tùy chọn namelist phụ trợ trong tệp tin *namelist.input* của WRF để ghi đè tên tệp mặc định *real.exe* sử dụng. Để thực hiện việc này, hãy thêm phần sau vào phần *&time_control* của tệp WRF *namelist.input* trước khi chạy *real.exe* (sử dụng cú pháp chính xác như bên dưới - không thay thế *<domain>* và *<date>* cho các số thực): *auxinput1_inname = "metoa_em.d<domain>.<date>"*

Các tệp tin wrfsfdda_dn: Việc sử dụng tùy chọn FDDA bề mặt trong OBSGRID tạo ra một tệp có tên *wrfsfdda_dn*. Tệp này chứa các phân tích bề mặt tại các khoảng INTF4D, phân tích T, TH, U, V, RH, QV, PSFC, PMSL và số lượng quan trắc trong phạm vi 250 km từng điểm lưới. Do các yêu cầu đầu vào của mô hình WRF, số liệu tại thời điểm hiện tại (*_OLD*) và số liệu cho lần tiếp theo (*_NEW*) được cung cấp tại mỗi khoảng thời gian. Do yêu cầu này, người dùng phải cẩn thận chỉ định khoảng thời gian tương tự trong phần *fdda*

WRF để làm mờ bề mặt như khoảng thời gian được sử dụng trong OBSGRID để tạo tệp *wrfsfdda_dn*.

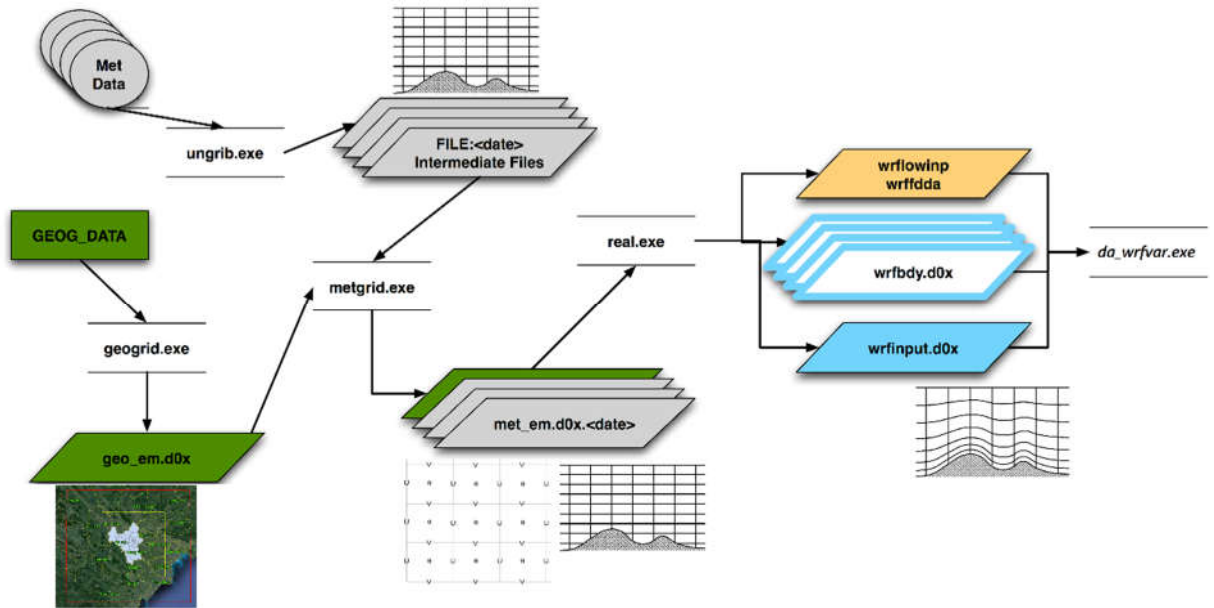
Các tập tin OBS_DOMAINdxx: Những tập tin này có thể được sử dụng trong WRF cho nudging quan trắc nút lưới (observational nudging). Định dạng của tệp này hơi khác so với định dạng *wrf_obs/little_r* tiêu chuẩn. Tên miền “d” trong tên tập tin đại diện cho số miền. Số xxx chỉ là một số liên tiếp. Các tệp này chứa danh sách tất cả các quan trắc có sẵn để sử dụng bởi chương trình OBSGRID.

Các tệp *metoa_em** được sử dụng tương tự như các tệp *met_em* khi chạy *real.exe* sau đó. Các file *wrfsfdda* có thể được sử dụng như là đầu vào để *wrf.exe* khi làm phân tích bề mặt nút lưới.

Các tệp *OBS_DOMAIN1xx* có thể được sử dụng trong *wrf.exe* khi thực hiện thao tác quan trắc tại nút lưới. Ngoài ra OBSGRID còn tạo ra các file số liệu chứa các loại thông tin khác nhau của số liệu quan trắc.

1.3. Hệ thống xử lý ARW - mô hình WRF

Trước khi thực hiện chương trình, người dùng cần phải chỉnh sửa tệp tin *namelist.input* để phản ánh thông tin miền tính (domain và nest) như: vị trí, kích thước, độ phân giải (kích thước ô lưới của domain và nest), phép chiếu được sử dụng, thời gian mô phỏng và một số thông tin khác.



Hình PL.04: Sơ đồ dòng số liệu trong hệ thống WRF

Số liệu đầu vào cho hệ thống WRF là kết quả của chương trình phân tích khách quan OBSGRID, bao gồm:

- Các tập tin *metoa_em**: Các tập tin phân tích cuối cùng ở mức độ bề mặt và áp lực. Các tập này được sử dụng thay cho các tập *met_em** từ *metgrid.exe* (WPS) để tạo các điều kiện ban đầu và ranh giới cho WRF khi chạy *real.exe*

metoa_em.d01.2015-01-16_00:00:00.nc

metoa_em.d01.2015-01-16_03:00:00.nc

.....

metoa_em.d02.2015-01-22_18:00:00.nc

metoa_em.d02.2015-01-22_21:00:00.nc

metoa_em.d02.2015-01-23_00:00:00.nc

- Các tập tin *wrfsfdda_dn*: Việc sử dụng tùy chọn FDDA bề mặt trong OBSGRID tạo ra một tập có tên *wrfsfdda_dn*, tập này chứa các phân tích bề mặt tại các khoảng INTF4D, phân tích T, TH, U, V, RH, QV, PSFC, PMSL và số lượng quan trắc trong phạm vi 250 km từng điểm lưới. Do các yêu cầu đầu vào của mô hình WRF, số liệu tại thời điểm hiện tại (*_OLD*) và số liệu cho lần

tiếp theo (`_NEW`) được cung cấp tại mỗi khoảng thời gian, người dùng cần phải cẩn thận chỉ định khoảng thời gian tương tự trong phần `fdda` WRF để làm mờ bề mặt như khoảng thời gian được sử dụng trong `OBSGRID` để tạo tệp `wrfsfdda_dn`

- Các tệp tin `OBS_DOMAINdxx`: Các tệp tin này được sử dụng trong `wrf.exe` khi thực hiện thao tác quan trắc tại nút lưới. Nudging code quan trắc WRF yêu cầu tất cả số liệu quan trắc có sẵn trong một tệp có tên `OBS_DOMAINdxx` (trong đó `d` là số miền), trong khi `OBSGRID` tạo một tệp mỗi lần. Do đó, để sử dụng các tệp này trong WRF, người dùng cần nối thành một tệp duy nhất. Tệp tin mới này được sử dụng trực tiếp trong mã quan trắc tại nút lưới trong WRF.

1.3.1. Khởi tạo số liệu thực

Tất cả các tệp tin số liệu đầu vào phải được đưa vào cùng thư mục với chương trình khởi tạo số liệu thực `real.exe`. Khi quá trình chạy thành công ta sẽ có các file đầu ra bao gồm các tệp tin sau:

```
wrfinput_d01;    wrfinput_d02;    wrfbdy_d01;rsl.out.0000;
rsl.error.0000; wrffdda_d01; wrffdda_d02
```

Nếu quá trình chạy có lỗi xảy ra, người dùng có thể thám khảo các thông tin trong tệp tin `rsl.error.0000` để khắc phục.

Trong quá trình khởi tạo số liệu thực, việc xác định các lớp khí quyển, phân chia các lớp độ cao từ mặt đất lên đỉnh khí quyển thành từng lớp có độ cao phù hợp với mục đích của mô phỏng đặc biệt quan trọng. Điều này sẽ tạo các lớp phù hợp với từng mục đích sử dụng ở đầu ra của mô hình CMAQ.

1.3.2. Module đồng hóa số liệu

WRFDA là một module được sử dụng cho mục đích đồng hóa số liệu trong hệ thống mô hình WRF. Đồng hóa số liệu là kỹ thuật kết hợp các quan trắc với sản phẩm dự báo số sử dụng các mô hình toán học của khí quyển để dự báo khí tượng dựa trên điều kiện hiện tại và thống kê lỗi tương ứng của chúng

để đưa ra ước tính đã được cải thiện (phân tích) của trạng thái khí quyển. Đồng hóa số liệu biến thể (Var) đạt được điều này thông qua việc tối thiểu hóa lặp đi lặp lại của chức năng phân tích.

Đồng hóa số liệu là xử lý các số liệu quan trắc được sử dụng để thực hiện điều chỉnh nhỏ cho dự báo ngắn hạn được giả định là tốt, đưa ra kết quả của mô hình phân tích.

WRFDA được sử dụng để đưa các quan trắc vào các phân tích nội suy được tạo bởi WPS, cũng có thể được sử dụng để cập nhật các điều kiện ban đầu của mô hình WRF khi mô hình WRF chạy ở chế độ vòng lặp (cycling). Một số tính năng chính của WRFDA là như sau:

- WRFDA dựa trên kỹ thuật đồng hóa số liệu đa dạng gia tăng có cả khả năng 3DVAR và 4DVAR;

- WRFDA cũng bao gồm khả năng đồng hóa số liệu lai (Biến thể + Đồng bộ - Variational + Ensemble);

- Số liệu quan trắc thông thường có thể được cung cấp ở định dạng ASCII thông qua tiện ích “**obsproc**” và hoặc định dạng PREPBUFR làm số liệu đầu vào;

- Nhiều đầu vào số liệu quan trắc vệ tinh có thể được cung cấp ở định dạng BUFR;

- Số liệu radar (độ phản xạ và tốc độ hướng tâm) được cung cấp qua định dạng ASCII cũng có thể làm số liệu đầu vào.

Chương trình OBSPROC (*obsproc.exe*) đọc các quan trắc ở định dạng LITTLE_R (định dạng dựa trên văn bản). Mục đích của OBSPROC là:

- Xóa bỏ các quan trắc bên ngoài các miền không gian (domain và nest) và thời gian được người sử dụng chỉ định cho mô phỏng;

- Sắp xếp và hợp nhất các báo cáo có số liệu trùng lặp theo thời gian và không gian (địa điểm);

- Lấy áp suất hoặc chiều cao dựa trên thông tin quan trắc được bằng giá định thủy tĩnh;
- Kiểm tra các quan trắc đa cấp về các điều kiện nhất quán theo chiều dọc;
- Chỉ định lỗi quan trắc dựa trên tệp lỗi được chỉ định trước.
- Viết ra tệp quan trắc được WRFDA sử dụng ở định dạng ASCII hoặc BUFR.

Tệp đầu ra từ bộ tiền xử lý quan trắc, chương trình OBSPROC vẫn là tệp ASCII, dễ dàng được thao tác cho các mục đích nghiên cứu cụ thể, chẳng hạn như kiểm tra số liệu điểm đơn, v.v.

Để làm cho hệ thống WRFDA có tính phổ biến nhất, định dạng LITTLE_R được sử dụng làm định dạng số liệu quan trắc trung gian cho hệ thống WRFDA, tuy nhiên, việc chuyển đổi số liệu nguồn cụ thể của người dùng sang định dạng LITTLE_R là nhiệm vụ của người sử dụng. Số liệu đầu vào cho WRFDA bao gồm các nguồn số liệu sau:

- Background Preprocessing (Một tệp nền định dạng netCDF, kết quả từ chương trình WPS, real.exe);
- Observation Preprocessing (File số liệu quan trắc tiền xử lý - observation files, là kết quả của chương trình OBSPROC);
- Background Errors File (File thống kê lỗi nền nghĩa là ước tính lỗi trong tệp nền), số liệu này được cung cấp trong thư mục *var/run*, người sử dụng chỉ cần liên kết *be.dat.cv3* với tệp *be.dat*.

Trong số ba (03) nguồn số liệu trên, người thực hiện mô phỏng phải chuẩn bị hai (02) nguồn là số liệu kết quả từ hệ thống WPS/real.exe (đã được thực hiện ở giai đoạn trước) và số liệu quan trắc tiền xử lý thu được từ chương trình *obsproc.exe*.

Nhập nhiều loại quan trắc được chuyển đổi sang định dạng `little_r` và được nối vào một tệp, xử lý số liệu quan trắc và xuất (các) tệp ASCII phù hợp với nhu cầu WRFDA - 3DVAR hoặc 4DVAR.

Mục đích của Luận án này là nghiên cứu đồng hóa số liệu vệ tinh cho hệ thống mô hình hóa chất lượng không khí đa qui mô (CMAQ), vì vậy, sản phẩm số liệu độ dày quang học (AOD) được trích xuất từ số liệu vệ tinh MODIS Terra đã được chọn để sử dụng. Như đã trình bày tại Chương II của Luận án này, số liệu AOD đã được trích xuất từ ảnh vệ tinh MODIS được chuyển sang định dạng `LITTLE_R` thông qua một phần mềm được phát triển trên nền Python 3.7. Kết quả thu được là các tệp tin số liệu AOD từ ảnh vệ tinh MODIS ở định dạng `LITTLE_R` làm số liệu đầu vào cho chương trình `OBSPROC` (*obsproc.exe*).

Khi chương trình `OBSPROC` (*obsproc.exe*) kết quả các tệp số liệu quan trắc được đặt tên như sau:

```
obs_gts_2015-01-16_12:00:00.4DVAR
obs_gts_2015-01-16_13:00:00.4DVAR
.....
obs_gts_2015-01-16_16:00:00.4DVAR
obs_gts_2015-01-16_17:00:00.4DVAR
obs_gts_2015-01-16_18:00:00.4DVAR
```

Chúng là các tệp quan trắc đầu vào của WRFDA 4DVAR. Đó là một tệp ASCII chứa phần tiêu đề (được liệt kê bên dưới) theo sau là các quan trắc. Ý nghĩa và định dạng của các quan trắc trong tệp được mô tả trong sáu dòng cuối cùng của phần tiêu đề.

Để chạy WRFDA 4DVAR, trước tiên hãy tạo một thư mục làm việc, biến môi trường và ngày phân tích, chẳng hạn như `/home/hdong/WRF-DA/HaNoi`.

Lưu ý: WRFDA 4DVAR có thể đồng hóa số liệu quan trắc thông thường, số liệu BUFR của vệ tinh và số liệu lượng mưa. Định dạng số liệu đầu vào có

thể là số liệu định dạng PREPBUFR hoặc số liệu quan trắc ASCII, được xử lý bởi OBSPROC.

Chỉnh sửa các biến *namelist.input* (*namelist.input.4dvar*) để phù hợp với mô phỏng, cần thiết, liên kết các tệp tùy chọn WRFDA 4DVAR có khả năng xem xét các điều kiện biên như các biến kiểm soát cũng như trong quá trình tối thiểu hóa. Biến *namelist var4d_lbc* phải được bật là *true*. Để kích hoạt tùy chọn này, WRFDA 4DVAR không chỉ cần đoán đầu tiên ở đầu cửa sổ thời gian, mà còn là lần đoán đầu tiên ở cuối cửa sổ thời gian.

Các biến *namelist* quan trọng nhất liên quan đến 4DVAR được liệt kê dưới đây. Lưu ý trong cài đặt thông tin thời gian, quy tắc là: *analy_date*, *time_window_min* và *start_xxx* trong *&time_control* phải luôn bằng nhau; *time_window_max* và *end_xxx* phải luôn bằng nhau; và *run_hours* là sự khác biệt giữa *start_xxx* và *end_xxx*, là độ dài của cửa sổ thời gian 4DVAR.

Để chạy WRFDA, thực hiện câu lệnh: `./da_wrfvar.exe >& wrfda.log`

Tệp *wrfda.log* (hoặc *rsl.out.0000*, nếu chạy ở chế độ bộ nhớ phân tán) chứa thông tin nhật ký thời gian chạy WRFDA quan trọng. Luôn kiểm tra log file sau khi chạy WRFDA.

```

&wrfvar1
var4d=true,
var4d_lbc=false,
var4d_bin=3600,
.....
/
.....
&wrfvar18
analysis_date="2015-01-15_00:00:00.0000",
/
.....
&wrfvar21
time_window_min="2015-01-15_00:00:00.0000",
/
.....
&wrfvar22
time_window_max="2015-01-15_23:00:00.0000",
/
.....
&time_control
run_hours=24,
start_year=2015,
start_month=01,
start_day=15,
start_hour=00,
end_year=2015,
end_month=01,
end_day=15,
end_hour=23,
interval_seconds=10800,
debug_level=0,
/

```

Các biến namelist quan trọng nhất

1.3.3. Mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết

Số liệu được *wrf.exe* sử dụng trong quá trình mô phỏng bao gồm tất cả các tệp tin số liệu của quá trình phân tích khách quan OBSGRID, các tệp tin các tệp tin của trình đồng hóa số liệu *da_wrfvar.exe* và các tệp tin là kết quả của quá trình chạy chương trình *real.exe*.

Kết quả của quá trình này là một loạt các tệp tin có định dạng *netCDF* và được đặt tên gồm tên miền (domain - d01, nest - d02) và thời gian phân tích của mô phỏng, cụ thể như sau:

```

wrfout_d01_2017-07-04_00:00:00
.....
wrfout_d01_2017-07-04_21:00:00
wrfout_d02_2017-07-04_03:00:00
.....
wrfout_d02_2017-07-05_00:00:00

```

1.4. Mô hình chất lượng không khí đa qui mô

1.4.1. Tính toán tốc độ quang phân

JPROC tính toán tốc độ quang phân được sử dụng bởi cơ chế quang hóa dựa trên mặt cắt hấp thụ phân tử và năng suất lượng tử (CSQY) cũng như số liệu khí hậu. Các tệp đầu ra là các bảng tra cứu ASCII chứa tỷ lệ được tính so với độ cao, vĩ độ và góc giờ. Cơ chế quang hóa được xác định bởi tập lệnh xây dựng cho JPROC. Độ cao (mét), vĩ độ (độ) và góc giờ được gắn kết trong mã nguồn của JPROC.

Cấu hình được đề xuất của CCTM trong CMAQ không sử dụng đầu ra JPROC nhưng các bảng tra cứu là bắt buộc nếu CCTM được biên dịch với chế độ ModPhot được đặt thành phot/bảng.

Các tệp đầu vào cho JPROC có một số tùy chọn được gọi khi biên dịch, một số tùy chọn khác được gọi khi thực thi chương trình. Khi biên dịch JPROC, người dùng chỉ định một cơ chế hóa học để chỉ ra hóa học pha khí để tính tốc độ quang phân. Đối với cơ chế quang hóa do người dùng chọn phải cung cấp một tập tin số liệu chứa các tệp số liệu hấp thụ phân tử và năng suất cho các phản ứng quang phân được sử dụng bởi cơ chế quang hóa. Nếu người dùng phát triển cơ chế mới với tốc độ quang phân mới, họ phải tạo ra các tệp số liệu CSQY thích hợp cho từng tốc độ. Người dùng cũng có tùy chọn sử dụng các cấu hình khí quyển mặc định có trong tệp đầu vào PROFILES hoặc sử dụng số liệu tổng quang phổ ánh xạ Ozone (Total Ozone Mapping Spectrometer - TOMS) để thay thế số liệu cột ozone có nguồn gốc khí hậu trong tệp PROFILES.

Các tệp kết quả của chương trình JPROC được sử dụng làm đầu vào cho Mô hình vận chuyển hóa học CMAQ (CMAQ Chemistry-Transport Model - CCTM) và JPROC được chạy thông qua tệp lệnh *run_jproc.csh*, kết quả thu được là các tệp số liệu chứa tỷ lệ quang phân có định dạng ASCII với tên tệp có dạng JTABLE_ \$Date (Date - ngày được thực hiện mô phỏng).

Ngoài ra, công cụ `create_omi` có sẵn trong bộ mã nguồn của CMAQ tạo tệp đầu vào OMI mô tả tổng mật độ cột ozone thay đổi theo toàn cầu và thời gian.

Tệp này hỗ trợ tính toán nội tuyến của tốc độ quang phân của mô hình CMAQ. Tệp OMI bao gồm xử lý các quan trắc từ các vệ tinh, tệp ASCII để phân phối vị trí (vĩ độ/kinh độ) của cột ozone trong một ngày. Công cụ này cũng tạo các tệp I/O API để hiển thị các quan trắc và số liệu của tệp OMI. Chúng có thể khác nhau vì công cụ nội suy các quan trắc đối với độ phân giải ngang của tệp OMI. Độ phân giải là một tùy chọn được chỉ định bởi tệp lệnh chạy.

1.4.2. Xử lý điều kiện ban đầu

ICON (**I**nitial **C**onditions Processor - Bộ xử lý điều kiện ban đầu) tạo một tệp `netCDF` có các điều kiện hóa học cho tất cả các ô lưới trong miền mô hình hóa trong thời gian ban đầu của một mô phỏng. ICON có thể tạo ra các điều kiện ban đầu này từ tệp đầu ra CCTM hiện tại hoặc một trong bốn tệp ASCII của hồ sơ nồng độ được phân giải theo chiều dọc được phân phối với CMAQ. Chạy ICON yêu cầu người dùng đã tạo các tệp MCIP cho miền mô hình đích của họ. Đối với cả hai tùy chọn tệp đầu vào, ICON sẽ nội suy số liệu theo cấu trúc ngang và dọc của miền đích như được xác định trong các tệp MCIP. Các loại trong tệp đầu ra ICON giống hệt với các loại trong tệp đầu vào (đầu ra CCTM hoặc hồ sơ ASCII).

Trong trường hợp này, nghiên cứu đã sử dụng số liệu đầu vào là các kết quả được xác định và tính toán từ hệ thống mô hình WRF thông qua chương trình MCIP. Các tệp kết quả của chương trình MCIP ở trên được sử dụng làm đầu vào và ICON được chạy thông qua tệp lệnh `run_icon.csh`, kết quả thu được là 01 tệp chứa các điều kiện hóa học cho tất cả các ô lưới trong miền mô hình hóa trong thời gian ban đầu của một mô phỏng: `ICON_v53_04-07-2017_profile_20170704`.

Tập số liệu này được sử dụng làm đầu vào cho Mô hình vận chuyển hóa học CMAQ (CMAQ Chemistry-Transport Model - CCTM).

1.4.3. Xử lý điều kiện biên

BCON (Boundary Conditions Processor - Bộ xử lý điều kiện biên) tạo một tập netCDF về các điều kiện hóa học dọc theo các ranh giới bên của miền mô hình hóa. BCON sẽ tạo một tập đầu ra với nồng độ hóa học cho tất cả các ô lưới dọc theo ranh giới ngang của miền mô hình hóa. BCON có thể tạo các điều kiện biên này từ tập đầu ra CCTM hiện tại hoặc một trong bốn tập ASCII của hồ sơ nồng độ được phân giải theo chiều dọc được phân phối với CMAQ. Chạy BCON yêu cầu người dùng đã tạo các tập MCIP cho miền mô hình đích của họ. Đối với cả hai tùy chọn tập đầu vào, BCON sẽ nội suy số liệu theo cấu trúc ngang và dọc của miền đích như được xác định trong các tập MCIP. Các loài trong tập đầu ra BCON giống hệt với các loài trong tập đầu vào (đầu ra CCTM hoặc hồ sơ ASCII). Tùy thuộc vào các tùy chọn do người dùng chỉ định hoặc bộ số liệu đầu vào, các điều kiện biên do BCON tạo ra có thể thay đổi theo thời gian, độc lập về thời gian và thống nhất về mặt không gian hoặc biến đổi theo ranh giới mô hình.

Cũng như ở trên, các tập kết quả của chương trình MCIP ở trên được sử dụng làm đầu vào và BCON được chạy thông qua tập lệnh *run_bcon.csh*, kết quả thu được là 01 tập chứa các điều kiện hóa học cho tất cả các ô lưới trong miền mô hình hóa trong thời gian ban đầu của một mô phỏng: *BCON_v53_04-07-2017_profile_20170704*.

Tập số liệu này được sử dụng làm đầu vào cho Mô hình vận chuyển hóa học CMAQ (CMAQ Chemistry-Transport Model - CCTM).

1.4.4. Mô hình vận chuyển hóa học

CCTM được cấu hình theo mặc định để chạy ở chế độ đa xử lý. Chế độ này yêu cầu cài đặt thời gian chạy chỉ định số lượng bộ vi xử lý phân bổ cho mô phỏng và vị trí của lệnh khởi tạo MPI (*mpirun*) trên hệ thống của người sử

dụng. Đặt số lượng bộ vi xử lý để sử dụng cho mô phỏng bằng cách thiết lập số hàng (NPROW) và cột (NPCOL) để sử dụng cho phân tách miền MPI. Sản phẩm của NPCOLS và NPROWS là số bộ vi xử lý để sử dụng cho chạy CCTM. Ví dụ, nếu bạn có một hệ thống có tám bộ xử lý có sẵn để chạy CMAQ, hãy đặt NPCOL thành 4 và NPROW thành 2; tổng số bộ vi xử lý (NPROCS) được tự động thiết lập bởi tập lệnh: $@ NPCOL = 4; @ NPROW = 2$

Đối với máy tính xử lý đơn, đặt NPROCS thành 1, NPCOL thành 1 và NPROW thành 1: *setenv NPCOL_NPROW "1 1"*

Trước khi thực hiện tập lệnh thực thi CCTM, người sử dụng cần thiết lập các biến môi trường được liệt kê bên dưới được gọi trong quá trình thực thi CCTM và được đặt trong tập lệnh chạy CCTM, *run_cctm.csh* nằm trong thư mục CCTM/scripts. Các biến môi trường này bao gồm: Trình biên dịch (gcc); Phiên bản của trình biên dịch (v5.0); Phiên bản của tập lệnh CCTM (v53); Chế độ đa xử lý (mpi); Cơ chế hóa học của CMAQ, cơ chế này phải khớp với cài đặt biến "Mechanism" trong tập lệnh xây dựng CCTM; Tên ứng dụng được sử dụng để dán nhãn nhị phân đầu ra và tệp nhật ký; Run ID được sử dụng để theo dõi số phiên bản, trình biên dịch và tên trường hợp ứng dụng; Đường dẫn thư mục và tên của CCTM đã được xây dựng; Các biến khác quy định các nguồn số liệu có được sử dụng hay không và vị trí để sử dụng chúng; và các biến được sử dụng để quy định việc xuất số liệu đầu ra phục vụ cho mục đích của người mô phỏng.

Sau khi thiết lập thực thi CCTM, mô hình đã sẵn sàng để chạy. Giống như tập lệnh *bldit_cctm.csh*, để sửa đổi bất kỳ tùy chọn thời gian chạy nào, hãy chỉnh sửa tập lệnh *run_cctm.csh*. Sau khi các cài đặt này được cấu hình, sử dụng các lệnh *run_cctm.csh* để chạy CCTM. Dưới đây là ví dụ về các tệp số liệu kết quả sau khi thực hiện tập lệnh thực thi *run_cctm.csh* thành công:

CCTM_04-07-2017_20170704.cfg

CCTM_ACONC_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_APMDIAG_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_CGRID_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_CONC_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_DRYDEP_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_DUSTEMIS_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_PMDIAG_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_VEXT_04-07-2017_20170704.nc

CCTM_WETDEP1_04-07-2017_20170704.nc

2. Thống kê một vài số liệu và hình ảnh kết quả của quá trình mô phỏng thực nghiệm

Bảng PL.01: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 16/01/2015 đến 23 giờ ngày 22/01/2015

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
16/01/2015 00:00	111,597	123,980	137,629	74,153	14,898
16/01/2015 01:00	113,822	125,565	138,777	77,362	14,602
16/01/2015 02:00	128,248	139,798	156,951	79,105	14,170
16/01/2015 03:00	137,173	148,969	165,891	81,805	13,915
16/01/2015 04:00	152,779	161,369	184,949	82,993	13,732
16/01/2015 05:00	186,245	167,813	190,741	84,266	13,355
16/01/2015 06:00	165,005	172,032	192,868	84,700	12,974
16/01/2015 07:00	140,718	172,963	190,917	82,142	12,729
16/01/2015 08:00	159,550	172,557	184,894	80,087	13,447
16/01/2015 09:00	131,910	160,633	176,369	77,116	13,909
16/01/2015 10:00	125,477	141,865	159,778	70,881	15,218
16/01/2015 11:00	109,289	118,615	135,869	60,934	16,710
16/01/2015 12:00	84,373	90,906	111,003	51,615	17,946
16/01/2015 13:00	70,275	80,807	94,667	44,497	19,196
16/01/2015 14:00	64,378	77,268	95,542	41,170	20,477
16/01/2015 15:00	69,083	77,749	97,820	40,654	20,996
16/01/2015 16:00	78,313	87,120	110,226	42,920	20,545
16/01/2015 17:00	89,841	100,317	119,236	45,115	20,565
16/01/2015 18:00	106,128	113,275	136,290	48,842	19,959
16/01/2015 19:00	125,702	128,586	150,677	57,257	19,117
16/01/2015 20:00	109,645	131,584	153,977	62,821	17,906
16/01/2015 21:00	123,090	134,460	152,448	67,106	17,122
16/01/2015 22:00	136,465	137,165	154,245	71,597	16,506
16/01/2015 23:00	126,388	135,457	156,267	75,148	16,010
17/01/2015 00:00	125,272	135,226	155,752	77,116	15,541
17/01/2015 01:00	129,587	137,038	158,635	79,444	15,095

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	<i>µg/m³</i>				
17/01/2015 02:00	127,482	140,101	161,894	81,418	14,882
17/01/2015 03:00	136,191	147,547	165,586	83,161	14,661
17/01/2015 04:00	151,353	160,164	176,602	85,078	14,169
17/01/2015 05:00	157,011	169,928	186,683	86,549	13,921
17/01/2015 06:00	175,544	182,659	201,082	87,372	13,571
17/01/2015 07:00	173,585	183,250	202,853	87,632	13,335
17/01/2015 08:00	160,784	179,275	199,578	87,098	13,433
17/01/2015 09:00	167,729	174,258	193,258	85,780	14,269
17/01/2015 10:00	130,272	150,810	176,655	76,709	15,603
17/01/2015 11:00	110,069	131,847	159,998	63,178	17,365
17/01/2015 12:00	86,786	109,634	137,991	46,806	18,842
17/01/2015 13:00	75,550	100,361	120,382	41,139	19,974
17/01/2015 14:00	64,353	95,871	113,027	36,059	21,426
17/01/2015 15:00	52,557	92,188	108,503	29,417	23,030
17/01/2015 16:00	81,685	91,004	109,400	30,289	22,192
17/01/2015 17:00	84,034	92,869	113,798	31,575	21,354
17/01/2015 18:00	81,312	92,923	114,563	36,421	20,410
17/01/2015 19:00	100,435	93,371	115,266	44,355	19,598
17/01/2015 20:00	87,467	97,368	116,541	51,888	18,729
17/01/2015 21:00	88,774	101,617	116,496	55,750	17,849
17/01/2015 22:00	96,410	107,937	122,732	59,754	17,144
17/01/2015 23:00	102,042	109,526	127,002	62,620	16,771
18/01/2015 00:00	106,814	114,650	136,357	65,153	16,466
18/01/2015 01:00	110,164	119,472	149,511	65,829	16,329
18/01/2015 02:00	110,370	128,582	160,087	69,021	15,993
18/01/2015 03:00	116,773	155,219	182,890	71,760	15,623
18/01/2015 04:00	182,246	183,785	213,233	73,027	15,410
18/01/2015 05:00	182,405	189,505	219,486	73,205	15,339
18/01/2015 06:00	193,542	188,920	223,470	72,112	15,250
18/01/2015 07:00	188,474	185,933	216,539	75,380	14,776

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	<i>µg/m³</i>				
18/01/2015 08:00	174,626	182,366	205,531	78,460	14,761
18/01/2015 09:00	165,332	173,204	189,652	74,242	15,605
18/01/2015 10:00	131,888	151,864	169,622	63,890	16,829
18/01/2015 11:00	91,771	115,636	147,018	51,133	18,248
18/01/2015 12:00	66,803	93,339	124,273	44,247	19,500
18/01/2015 13:00	66,182	81,281	98,243	39,762	20,757
18/01/2015 14:00	57,588	75,394	89,465	34,455	22,098
18/01/2015 15:00	51,140	74,035	87,899	29,397	23,519
18/01/2015 16:00	56,062	77,327	86,881	31,105	22,757
18/01/2015 17:00	60,403	78,700	89,495	33,183	22,192
18/01/2015 18:00	68,095	84,394	94,870	34,531	21,618
18/01/2015 19:00	76,923	90,346	107,927	39,936	20,893
18/01/2015 20:00	89,914	100,414	118,294	43,337	20,225
18/01/2015 21:00	99,056	109,750	123,691	49,869	19,661
18/01/2015 22:00	105,025	116,257	130,523	53,240	19,000
18/01/2015 23:00	105,538	121,959	133,811	54,684	18,727
19/01/2015 00:00	107,078	126,138	138,002	57,658	18,082
19/01/2015 01:00	116,642	129,424	143,084	59,817	17,785
19/01/2015 02:00	117,724	129,962	147,982	62,495	17,370
19/01/2015 03:00	120,920	133,423	150,563	66,434	16,915
19/01/2015 04:00	127,889	140,158	156,134	67,747	16,865
19/01/2015 05:00	189,749	147,352	165,707	65,596	16,889
19/01/2015 06:00	148,209	150,360	164,079	65,094	16,840
19/01/2015 07:00	125,445	147,882	162,692	65,562	16,271
19/01/2015 08:00	131,615	143,864	159,757	63,753	16,044
19/01/2015 09:00	130,055	140,357	156,075	59,070	16,680
19/01/2015 10:00	115,774	132,087	147,123	53,165	17,610
19/01/2015 11:00	110,004	121,920	140,726	49,170	18,621
19/01/2015 12:00	105,241	115,674	131,260	45,950	19,496
19/01/2015 13:00	98,104	106,489	123,393	41,988	20,557

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	<i>µg/m³</i>				
19/01/2015 14:00	88,537	100,005	115,237	37,220	22,059
19/01/2015 15:00	85,867	99,390	116,343	35,916	22,412
19/01/2015 16:00	91,008	102,634	116,057	36,178	22,226
19/01/2015 17:00	96,533	117,800	127,754	38,674	21,471
19/01/2015 18:00	113,880	135,765	142,318	41,079	20,994
19/01/2015 19:00	145,018	155,454	170,638	46,368	20,473
19/01/2015 20:00	157,132	168,617	189,978	50,878	19,570
19/01/2015 21:00	179,653	176,074	205,984	54,099	19,381
19/01/2015 22:00	187,829	183,349	207,578	56,553	19,273
19/01/2015 23:00	170,339	179,639	198,864	61,550	18,455
20/01/2015 00:00	146,695	167,443	184,609	67,199	17,316
20/01/2015 01:00	141,752	149,471	173,238	70,625	16,580
20/01/2015 02:00	129,801	137,824	159,455	72,517	16,223
20/01/2015 03:00	119,311	132,161	151,498	73,033	16,039
20/01/2015 04:00	118,078	132,903	150,483	75,436	15,712
20/01/2015 05:00	121,089	134,852	152,677	77,412	15,452
20/01/2015 06:00	130,662	150,785	175,770	79,429	15,386
20/01/2015 07:00	143,394	175,351	198,019	79,729	15,554
20/01/2015 08:00	187,617	196,861	216,884	80,257	15,640
20/01/2015 09:00	189,976	200,997	219,287	79,569	16,187
20/01/2015 10:00	170,006	185,524	202,276	76,596	17,221
20/01/2015 11:00	138,059	166,293	185,166	65,813	18,746
20/01/2015 12:00	97,648	138,706	165,744	47,061	20,495
20/01/2015 13:00	81,617	120,356	148,668	40,535	21,362
20/01/2015 14:00	78,868	110,175	134,752	37,806	22,813
20/01/2015 15:00	80,696	106,996	128,551	37,324	23,194
20/01/2015 16:00	89,397	108,355	123,583	41,144	22,294
20/01/2015 17:00	95,055	118,796	124,725	43,942	22,112
20/01/2015 18:00	100,698	127,756	141,478	47,616	21,327
20/01/2015 19:00	127,604	136,105	156,627	54,163	20,252

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	<i>µg/m³</i>				
20/01/2015 20:00	132,532	141,459	164,553	58,665	19,720
20/01/2015 21:00	123,757	152,068	170,210	62,882	19,110
20/01/2015 22:00	127,684	158,710	176,747	66,959	18,490
20/01/2015 23:00	154,945	162,527	187,149	69,648	17,974
21/01/2015 00:00	154,352	176,701	195,303	72,583	17,557
21/01/2015 01:00	182,340	189,793	212,857	75,177	17,140
21/01/2015 02:00	215,357	205,487	242,647	77,066	16,755
21/01/2015 03:00	235,894	213,752	247,809	78,773	16,376
21/01/2015 04:00	207,355	219,095	246,674	79,991	16,187
21/01/2015 05:00	218,424	221,952	244,880	79,405	16,434
21/01/2015 06:00	216,400	223,808	246,050	81,545	16,416
21/01/2015 07:00	215,183	221,820	245,757	81,945	16,526
21/01/2015 08:00	217,883	219,321	245,832	80,808	16,927
21/01/2015 09:00	204,750	213,438	235,757	80,415	17,317
21/01/2015 10:00	181,691	194,298	221,672	78,723	17,745
21/01/2015 11:00	167,248	174,505	202,155	73,476	18,709
21/01/2015 12:00	139,782	152,755	184,066	65,587	19,875
21/01/2015 13:00	120,384	126,911	160,911	57,247	20,948
21/01/2015 14:00	105,585	118,167	133,433	51,220	22,105
21/01/2015 15:00	99,230	111,909	125,189	49,181	22,583
21/01/2015 16:00	95,817	108,435	124,529	48,964	22,513
21/01/2015 17:00	91,930	109,602	123,679	48,618	22,456
21/01/2015 18:00	99,367	121,899	129,636	50,722	22,032
21/01/2015 19:00	137,005	130,488	160,381	54,588	21,441
21/01/2015 20:00	132,509	139,226	172,773	57,007	20,873
21/01/2015 21:00	133,207	162,687	185,032	61,058	19,901
21/01/2015 22:00	181,196	180,081	191,715	66,918	19,327
21/01/2015 23:00	173,609	185,086	197,887	74,292	18,541
22/01/2015 00:00	174,125	186,375	201,973	78,892	17,946
22/01/2015 01:00	179,886	189,887	206,571	80,967	17,519

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	<i>µg/m³</i>				
22/01/2015 02:00	186,602	191,831	210,059	81,267	17,211
22/01/2015 03:00	186,414	192,123	211,138	81,884	16,852
22/01/2015 04:00	177,168	190,434	209,793	83,834	16,521
22/01/2015 05:00	162,954	189,618	207,766	85,003	16,265
22/01/2015 06:00	176,376	192,560	208,140	85,294	16,151
22/01/2015 07:00	197,682	200,204	214,123	85,601	15,918
22/01/2015 08:00	190,849	202,454	217,394	84,602	15,937
22/01/2015 09:00	189,934	199,871	219,620	82,149	16,342
22/01/2015 10:00	189,116	196,695	215,578	78,753	17,358
22/01/2015 11:00	184,135	192,719	213,364	73,568	18,753
22/01/2015 12:00	167,407	184,189	204,389	66,151	20,487
22/01/2015 13:00	159,886	172,495	191,952	57,184	22,327
22/01/2015 14:00	126,207	149,340	172,932	45,514	24,311
22/01/2015 15:00	98,165	125,159	144,614	38,380	25,684
22/01/2015 16:00	87,199	114,028	134,253	38,188	25,171
22/01/2015 17:00	89,161	112,892	135,092	41,137	24,317
22/01/2015 18:00	109,403	115,914	141,413	47,157	23,219
22/01/2015 19:00	125,152	130,703	149,657	53,468	21,900
22/01/2015 20:00	124,624	137,399	153,451	56,957	21,028
22/01/2015 21:00	126,456	145,482	158,839	62,543	20,235
22/01/2015 22:00	144,608	148,360	165,333	71,814	19,457
22/01/2015 23:00	138,577	149,843	167,606	75,405	18,859

Bảng PL.02: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2015 đến 23 giờ ngày 11/02/2015

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
05/02/2015 00:00	42,529	54,694	67,252	74,657	13,409
05/02/2015 01:00	34,505	55,236	65,297	74,558	12,979
05/02/2015 02:00	43,173	55,003	64,757	75,468	12,720
05/02/2015 03:00	31,856	51,697	56,869	77,815	12,121
05/02/2015 04:00	31,696	46,873	53,089	79,368	11,791
05/02/2015 05:00	52,665	49,507	54,900	81,047	11,675
05/02/2015 06:00	35,891	51,965	56,479	80,854	11,657
05/02/2015 07:00	40,303	54,144	65,724	84,783	11,300
05/02/2015 08:00	44,599	55,088	66,446	83,170	11,333
05/02/2015 09:00	41,438	58,343	68,215	85,035	11,053
05/02/2015 10:00	42,929	63,460	71,728	87,071	10,889
05/02/2015 11:00	49,520	66,662	75,126	83,113	11,567
05/02/2015 12:00	50,974	67,017	76,070	78,967	11,897
05/02/2015 13:00	45,844	66,528	74,001	72,804	12,530
05/02/2015 14:00	41,361	65,969	72,639	65,539	13,406
05/02/2015 15:00	45,838	64,121	69,806	57,149	14,404
05/02/2015 16:00	42,774	61,555	68,313	54,618	14,547
05/02/2015 17:00	46,152	64,150	70,653	53,803	14,629
05/02/2015 18:00	55,260	72,392	79,739	54,189	14,544
05/02/2015 19:00	61,923	75,316	84,509	55,759	14,420
05/02/2015 20:00	53,333	76,994	88,691	69,531	14,088
05/02/2015 21:00	56,685	79,275	92,935	75,502	13,755
05/02/2015 22:00	80,699	84,374	93,991	63,938	13,750
05/02/2015 23:00	76,236	87,034	95,269	52,020	13,729
06/02/2015 00:00	77,960	88,347	97,074	49,333	13,485
06/02/2015 01:00	71,009	84,659	94,176	50,023	13,310
06/02/2015 02:00	81,893	81,879	92,950	51,585	13,081
06/02/2015 03:00	85,053	83,862	95,330	54,277	12,814

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
06/02/2015 04:00	74,715	85,465	97,463	55,700	12,711
06/02/2015 05:00	74,269	90,802	101,915	54,180	12,662
06/02/2015 06:00	79,958	96,357	105,390	53,809	12,597
06/02/2015 07:00	86,153	107,162	111,872	53,647	12,547
06/02/2015 08:00	98,602	112,203	122,288	51,209	12,760
06/02/2015 09:00	97,895	114,467	123,719	50,595	13,025
06/02/2015 10:00	100,066	111,715	123,348	47,195	13,373
06/02/2015 11:00	88,418	110,985	120,467	40,973	13,879
06/02/2015 12:00	87,786	109,681	117,604	35,424	15,456
06/02/2015 13:00	88,709	107,898	113,315	31,908	16,371
06/02/2015 14:00	87,680	108,701	109,813	32,076	16,794
06/02/2015 15:00	90,476	108,523	113,393	34,113	16,547
06/02/2015 16:00	97,154	112,891	118,198	35,671	16,346
06/02/2015 17:00	103,145	118,464	128,115	36,213	16,310
06/02/2015 18:00	111,284	129,919	135,175	37,923	16,134
06/02/2015 19:00	116,111	134,646	140,507	41,359	15,890
06/02/2015 20:00	121,443	140,000	144,723	45,158	15,616
06/02/2015 21:00	123,370	141,689	149,328	47,587	15,247
06/02/2015 22:00	133,555	145,729	153,163	51,958	14,706
06/02/2015 23:00	136,423	148,334	158,020	55,087	14,377
07/02/2015 00:00	133,731	143,137	155,674	56,328	14,409
07/02/2015 01:00	107,580	133,844	147,864	58,982	14,462
07/02/2015 02:00	94,851	121,876	137,111	61,634	14,379
07/02/2015 03:00	85,645	114,763	124,759	61,993	14,511
07/02/2015 04:00	92,718	114,570	121,164	61,114	14,607
07/02/2015 05:00	98,850	117,119	126,238	62,192	14,603
07/02/2015 06:00	103,071	128,320	141,792	64,543	14,680
07/02/2015 07:00	126,683	150,488	165,279	68,686	14,525
07/02/2015 08:00	165,323	181,588	188,969	73,615	14,158
07/02/2015 09:00	168,586	185,951	195,639	70,818	14,386

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
07/02/2015 10:00	166,271	181,315	197,330	67,543	14,540
07/02/2015 11:00	157,503	172,443	188,363	66,885	14,663
07/02/2015 12:00	128,416	151,702	168,174	65,867	14,840
07/02/2015 13:00	121,782	141,420	145,227	65,842	14,930
07/02/2015 14:00	115,236	133,087	138,154	65,339	14,941
07/02/2015 15:00	114,385	129,487	137,668	64,575	15,255
07/02/2015 16:00	113,057	129,528	136,667	65,470	15,193
07/02/2015 17:00	119,450	134,317	138,665	67,009	15,186
07/02/2015 18:00	125,648	142,910	147,380	69,080	15,091
07/02/2015 19:00	139,692	150,370	162,467	71,823	14,952
07/02/2015 20:00	141,654	151,432	163,316	75,007	14,468
07/02/2015 21:00	117,118	138,554	155,023	84,395	13,623
07/02/2015 22:00	99,285	124,611	138,501	87,560	13,419
07/02/2015 23:00	91,917	112,094	124,752	88,435	13,283
08/02/2015 00:00	81,969	102,771	116,956	89,185	13,083
08/02/2015 01:00	81,114	99,417	111,164	89,131	13,234
08/02/2015 02:00	80,028	100,995	111,707	87,404	13,408
08/02/2015 03:00	91,415	109,380	118,906	82,552	13,651
08/02/2015 04:00	103,619	120,015	128,178	79,129	13,734
08/02/2015 05:00	114,250	123,508	134,705	81,754	13,760
08/02/2015 06:00	106,466	120,807	129,245	85,549	13,725
08/02/2015 07:00	95,872	114,800	124,256	85,608	13,875
08/02/2015 08:00	103,900	113,847	122,837	84,896	14,058
08/02/2015 09:00	104,094	122,147	130,272	83,333	14,348
08/02/2015 10:00	120,044	128,418	137,433	78,098	15,099
08/02/2015 11:00	107,466	124,883	133,066	51,817	16,225
08/02/2015 12:00	95,100	115,683	127,005	36,840	17,129
08/02/2015 13:00	90,536	106,828	121,775	32,290	17,758
08/02/2015 14:00	86,354	101,887	113,669	30,327	18,298
08/02/2015 15:00	76,809	97,396	107,383	26,633	19,746

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/02/2015 16:00	79,199	100,716	108,211	27,133	19,485
08/02/2015 17:00	91,464	106,430	121,445	28,895	19,207
08/02/2015 18:00	93,914	116,270	136,229	31,190	18,673
08/02/2015 19:00	109,884	134,748	150,462	38,047	17,335
08/02/2015 20:00	138,850	153,093	164,270	43,086	16,702
08/02/2015 21:00	151,998	169,337	170,935	45,885	16,492
08/02/2015 22:00	158,979	171,024	180,889	49,859	16,130
08/02/2015 23:00	153,016	168,594	187,124	52,190	15,784
09/02/2015 00:00	180,674	164,117	188,697	53,904	15,876
09/02/2015 01:00	151,362	162,216	183,198	53,817	16,043
09/02/2015 02:00	147,077	159,203	176,536	55,519	16,144
09/02/2015 03:00	154,900	161,960	174,428	58,817	15,994
09/02/2015 04:00	154,963	166,925	178,826	62,940	15,794
09/02/2015 05:00	156,647	177,251	197,451	64,746	15,728
09/02/2015 06:00	185,337	195,267	210,000	67,035	15,585
09/02/2015 07:00	186,270	202,947	215,772	66,459	15,584
09/02/2015 08:00	193,601	205,608	217,918	64,044	15,817
09/02/2015 09:00	172,996	205,853	215,386	63,708	15,741
09/02/2015 10:00	185,424	202,163	214,532	64,248	15,876
09/02/2015 11:00	189,522	199,816	211,159	61,720	16,194
09/02/2015 12:00	184,572	190,315	204,460	58,938	16,490
09/02/2015 13:00	141,129	178,285	192,650	52,834	16,933
09/02/2015 14:00	146,558	166,565	181,007	54,044	17,121
09/02/2015 15:00	144,957	161,961	174,231	53,109	17,547
09/02/2015 16:00	142,870	160,460	172,919	52,774	17,793
09/02/2015 17:00	145,213	163,250	170,665	53,788	17,718
09/02/2015 18:00	151,216	170,836	175,782	55,328	17,506
09/02/2015 19:00	159,281	175,193	183,360	58,419	17,181
09/02/2015 20:00	157,631	181,495	190,514	60,943	16,839
09/02/2015 21:00	152,166	188,460	196,380	60,673	16,679

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/02/2015 22:00	165,814	193,626	204,688	62,005	16,613
09/02/2015 23:00	178,941	195,634	205,835	63,938	16,589
10/02/2015 00:00	182,421	194,186	205,645	65,926	16,314
10/02/2015 01:00	163,486	185,749	198,133	64,720	16,244
10/02/2015 02:00	163,830	176,787	189,508	64,813	16,226
10/02/2015 03:00	149,950	172,232	184,427	63,985	16,144
10/02/2015 04:00	152,942	173,247	183,943	66,456	15,913
10/02/2015 05:00	159,255	180,419	190,570	69,152	15,881
10/02/2015 06:00	170,994	189,598	206,121	71,490	15,828
10/02/2015 07:00	199,239	210,089	223,444	75,912	15,762
10/02/2015 08:00	203,214	212,470	224,842	77,254	15,843
10/02/2015 09:00	181,816	206,286	218,605	78,374	15,778
10/02/2015 10:00	171,064	197,843	212,074	77,249	15,781
10/02/2015 11:00	173,817	188,246	202,531	74,061	16,410
10/02/2015 12:00	171,993	184,250	195,253	69,568	17,043
10/02/2015 13:00	171,177	185,838	193,510	67,251	17,513
10/02/2015 14:00	174,203	193,800	192,876	66,295	17,770
10/02/2015 15:00	174,182	194,456	191,750	69,956	17,722
10/02/2015 16:00	173,915	193,842	190,224	73,095	17,606
10/02/2015 17:00	174,607	185,645	187,248	75,910	17,544
10/02/2015 18:00	160,411	176,418	184,880	77,510	17,346
10/02/2015 19:00	148,534	172,387	181,237	78,866	17,144
10/02/2015 20:00	139,755	170,655	179,781	79,783	16,896
10/02/2015 21:00	154,471	171,934	178,114	81,109	16,699
10/02/2015 22:00	160,718	173,568	180,013	81,325	16,649
10/02/2015 23:00	157,058	176,385	191,234	81,918	16,525
11/02/2015 00:00	164,581	183,745	202,784	81,886	16,499
11/02/2015 01:00	223,298	185,291	205,719	83,035	16,266
11/02/2015 02:00	172,253	182,803	203,140	83,936	16,241
11/02/2015 03:00	170,874	178,876	199,739	86,277	15,963

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
11/02/2015 04:00	165,756	170,282	190,574	88,453	15,751
11/02/2015 05:00	133,112	152,461	176,087	89,597	15,621
11/02/2015 06:00	112,501	138,852	157,229	90,285	15,611
11/02/2015 07:00	103,790	125,556	145,872	90,731	15,608
11/02/2015 08:00	85,695	116,812	135,327	90,931	15,379
11/02/2015 09:00	88,109	110,622	124,559	90,923	14,867
11/02/2015 10:00	86,405	106,367	117,468	90,645	14,262
11/02/2015 11:00	89,592	100,857	112,843	90,453	13,989
11/02/2015 12:00	75,838	95,075	108,907	90,155	13,823
11/02/2015 13:00	71,092	90,883	103,351	89,596	13,990
11/02/2015 14:00	70,591	89,197	99,476	85,811	14,664
11/02/2015 15:00	76,108	88,122	96,583	77,600	15,577
11/02/2015 16:00	68,002	91,553	97,685	71,194	16,164
11/02/2015 17:00	61,502	98,987	104,861	68,570	16,412
11/02/2015 18:00	76,842	106,068	111,037	68,328	16,449
11/02/2015 19:00	96,960	113,806	118,002	69,528	16,370
11/02/2015 20:00	105,240	122,007	128,703	71,224	16,312
11/02/2015 21:00	111,948	121,555	131,087	72,991	16,292
11/02/2015 22:00	102,053	115,779	127,145	79,068	16,100
11/02/2015 23:00	95,325	109,682	120,435	84,365	15,898

Bảng PL.03: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	Temp (°C)
	µg/m ³			
04/07/2017 00:00	36,723	43,421	48,583	29,337
04/07/2017 01:00	24,474	35,316	42,245	29,311
04/07/2017 02:00	40,605	33,354	41,922	29,138
04/07/2017 03:00	24,827	31,412	37,718	28,394
04/07/2017 04:00	20,050	27,120	23,327	28,252
04/07/2017 05:00	14,506	24,660	21,839	27,988
04/07/2017 06:00	14,362	21,997	22,553	27,897
04/07/2017 07:00	15,928	23,045	23,502	28,134
04/07/2017 08:00	15,285	22,431	25,290	29,118
04/07/2017 09:00	15,813	23,064	23,470	30,450
04/07/2017 10:00	12,761	19,564	24,450	32,061
04/07/2017 11:00	11,941	17,812	24,714	33,068
04/07/2017 12:00	13,313	18,655	25,175	33,306
04/07/2017 13:00	13,066	18,792	23,182	33,955
04/07/2017 14:00	11,086	18,319	21,179	33,970
04/07/2017 15:00	8,072	18,085	21,509	34,349
04/07/2017 16:00	13,877	18,818	22,684	32,267
04/07/2017 17:00	11,036	19,961	24,455	29,345
04/07/2017 18:00	27,176	25,301	30,031	29,724
04/07/2017 19:00	19,685	25,860	29,124	28,868
04/07/2017 20:00	17,882	24,929	28,124	28,551
04/07/2017 21:00	9,370	22,635	25,552	27,045
04/07/2017 22:00	13,270	20,646	25,408	26,761
04/07/2017 23:00	13,145	19,273	25,639	27,100
05/07/2017 00:00	14,573	18,585	23,560	27,324
05/07/2017 01:00	12,730	17,630	22,926	27,834
05/07/2017 02:00	11,532	18,952	22,693	28,519
05/07/2017 03:00	15,369	20,188	25,339	28,405

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	Temp (°C)
	<i>μg/m³</i>			
05/07/2017 04:00	13,486	19,381	25,457	28,266
05/07/2017 05:00	14,275	19,665	26,994	28,208
05/07/2017 06:00	18,541	22,245	28,687	28,228
05/07/2017 07:00	16,579	23,160	27,520	28,462
05/07/2017 08:00	18,963	23,807	26,202	29,274
05/07/2017 09:00	15,208	22,287	24,041	30,364
05/07/2017 10:00	12,400	19,405	23,700	32,063
05/07/2017 11:00	9,857	17,784	21,777	32,854
05/07/2017 12:00	7,969	14,767	18,640	32,710
05/07/2017 13:00	6,947	13,165	17,032	29,961
05/07/2017 14:00	7,240	14,109	17,117	30,042
05/07/2017 15:00	9,211	16,000	18,691	31,956
05/07/2017 16:00	9,180	16,425	20,681	32,541
05/07/2017 17:00	11,299	17,495	21,554	32,245
05/07/2017 18:00	12,588	18,788	21,825	31,812
05/07/2017 19:00	12,979	20,491	25,175	31,287
05/07/2017 20:00	13,218	20,072	24,364	30,660
05/07/2017 21:00	10,757	20,825	23,405	30,188
05/07/2017 22:00	16,550	22,498	24,984	29,944
05/07/2017 23:00	14,618	21,725	23,843	29,680
06/07/2017 00:00	12,447	18,804	22,857	29,317
06/07/2017 01:00	11,183	18,469	23,917	29,033
06/07/2017 02:00	11,583	18,548	22,553	28,929
06/07/2017 03:00	7,493	19,662	20,816	28,781
06/07/2017 04:00	12,363	20,815	22,847	28,571
06/07/2017 05:00	20,010	24,612	27,152	28,451
06/07/2017 06:00	19,306	25,814	26,654	28,387
06/07/2017 07:00	17,716	24,210	26,822	28,492
06/07/2017 08:00	15,577	22,437	26,128	29,507
06/07/2017 09:00	14,015	20,172	23,482	30,827

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
06/07/2017 10:00	13,647	20,603	24,139	31,775
06/07/2017 11:00	11,330	19,252	23,358	32,580
06/07/2017 12:00	10,278	18,061	19,967	33,036
06/07/2017 13:00	10,786	17,790	20,462	32,902
06/07/2017 14:00	10,047	16,238	20,784	33,700
06/07/2017 15:00	7,640	14,179	19,879	33,287
06/07/2017 16:00	5,469	14,033	20,950	33,007
06/07/2017 17:00	7,546	15,105	20,343	32,299
06/07/2017 18:00	7,978	15,872	19,071	31,903
06/07/2017 19:00	9,373	17,024	17,923	31,440
06/07/2017 20:00	8,491	15,446	19,108	30,851
06/07/2017 21:00	9,888	15,537	19,694	30,410
06/07/2017 22:00	12,178	16,309	21,672	30,113
06/07/2017 23:00	12,315	17,327	20,812	29,847
07/07/2017 00:00	13,305	19,133	23,085	29,585
07/07/2017 01:00	13,517	19,000	26,023	29,497
07/07/2017 02:00	14,970	20,687	28,024	29,405
07/07/2017 03:00	17,526	23,267	30,277	29,181
07/07/2017 04:00	17,171	23,495	29,370	29,014
07/07/2017 05:00	15,969	23,750	25,663	28,853
07/07/2017 06:00	17,761	24,958	25,683	28,725
07/07/2017 07:00	17,821	23,940	25,594	28,957
07/07/2017 08:00	10,911	22,951	24,485	28,478
07/07/2017 09:00	19,398	21,808	25,672	28,686
07/07/2017 10:00	12,324	20,106	25,870	31,434
07/07/2017 11:00	13,772	20,167	24,355	31,276
07/07/2017 12:00	17,181	24,565	24,102	30,497
07/07/2017 13:00	18,412	24,614	25,564	30,694
07/07/2017 14:00	17,682	25,408	27,183	31,494
07/07/2017 15:00	21,085	26,280	29,456	32,173

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
07/07/2017 16:00	19,596	24,490	30,117	32,314
07/07/2017 17:00	17,409	23,828	29,247	33,081
07/07/2017 18:00	17,674	23,561	28,723	32,083
07/07/2017 19:00	19,009	23,524	30,524	31,071
07/07/2017 20:00	17,151	23,415	29,713	29,556
07/07/2017 21:00	18,047	20,703	25,406	28,894
07/07/2017 22:00	3,233	13,438	16,588	27,204
07/07/2017 23:00	3,975	11,065	14,977	25,547
08/07/2017 00:00	4,011	11,680	15,500	25,318
08/07/2017 01:00	5,539	11,494	16,110	25,297
08/07/2017 02:00	4,533	11,568	16,898	25,101
08/07/2017 03:00	7,528	12,502	17,912	25,078
08/07/2017 04:00	13,124	14,888	20,755	25,281
08/07/2017 05:00	10,504	16,732	21,189	25,467
08/07/2017 06:00	15,828	19,183	23,735	25,652
08/07/2017 07:00	11,989	22,066	25,980	25,624
08/07/2017 08:00	20,028	26,758	29,669	25,925
08/07/2017 09:00	24,651	29,787	33,166	26,928
08/07/2017 10:00	23,667	29,462	32,178	28,348
08/07/2017 11:00	18,983	26,683	31,634	29,826
08/07/2017 12:00	18,086	25,504	29,980	31,010
08/07/2017 13:00	18,263	23,982	27,704	31,724
08/07/2017 14:00	16,264	21,195	26,569	32,244
08/07/2017 15:00	12,595	19,976	26,324	33,024
08/07/2017 16:00	13,607	19,089	25,151	33,357
08/07/2017 17:00	9,937	17,041	20,962	33,136
08/07/2017 18:00	9,133	15,401	19,634	31,649
08/07/2017 19:00	6,954	13,406	19,111	30,076
08/07/2017 20:00	5,934	12,244	19,477	26,728
08/07/2017 21:00	6,797	11,870	20,167	26,042

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
08/07/2017 22:00	6,198	11,634	19,802	25,983
08/07/2017 23:00	10,506	15,495	24,902	26,265
09/07/2017 00:00	17,174	20,273	27,086	26,255
09/07/2017 01:00	15,773	21,227	27,288	26,816
09/07/2017 02:00	14,559	21,661	25,659	27,104
09/07/2017 03:00	13,830	22,692	24,465	27,083
09/07/2017 04:00	17,417	23,476	24,726	26,999
09/07/2017 05:00	16,347	22,065	24,700	26,926
09/07/2017 06:00	12,000	19,216	25,345	26,933
09/07/2017 07:00	11,793	18,247	21,815	27,204
09/07/2017 08:00	11,641	18,276	21,280	27,772
09/07/2017 09:00	11,451	17,941	20,328	28,700
09/07/2017 10:00	11,664	17,560	21,637	29,666
09/07/2017 11:00	9,072	16,495	21,987	30,792
09/07/2017 12:00	9,265	15,579	22,121	32,546
09/07/2017 13:00	9,853	15,884	21,887	32,883
09/07/2017 14:00	8,134	14,709	21,635	33,102
09/07/2017 15:00	9,357	14,919	21,358	33,009
09/07/2017 16:00	9,031	16,864	20,855	32,972
09/07/2017 17:00	10,585	17,486	22,264	33,302
09/07/2017 18:00	10,364	17,541	22,702	33,080
09/07/2017 19:00	12,214	17,579	23,640	32,560
09/07/2017 20:00	13,572	18,988	24,951	31,786
09/07/2017 21:00	15,121	20,123	25,369	31,317
09/07/2017 22:00	16,180	19,916	25,924	30,892
09/07/2017 23:00	14,925	19,691	24,946	30,596
10/07/2017 00:00	14,092	19,974	22,471	30,243
10/07/2017 01:00	13,774	21,050	21,784	29,861
10/07/2017 02:00	13,730	21,106	22,416	29,638
10/07/2017 03:00	15,226	21,112	24,320	29,400

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
10/07/2017 04:00	16,064	22,801	24,441	29,204
10/07/2017 05:00	18,295	23,953	25,420	29,112
10/07/2017 06:00	20,376	25,872	27,723	29,113
10/07/2017 07:00	21,798	26,646	32,778	29,258
10/07/2017 08:00	19,626	27,237	31,957	29,554
10/07/2017 09:00	19,964	27,760	32,832	29,902
10/07/2017 10:00	27,270	27,831	34,468	30,563
10/07/2017 11:00	27,949	26,426	33,206	31,191
10/07/2017 12:00	14,931	22,647	27,506	32,128
10/07/2017 13:00	15,317	21,073	27,403	30,841
10/07/2017 14:00	12,506	20,374	23,768	29,983
10/07/2017 15:00	11,485	20,402	20,572	29,566
10/07/2017 16:00	12,830	21,484	22,134	29,043
10/07/2017 17:00	18,076	23,226	24,989	28,861
10/07/2017 18:00	13,618	25,649	30,267	28,859
10/07/2017 19:00	26,541	26,735	30,284	28,883
10/07/2017 20:00	21,855	25,976	29,921	28,465
10/07/2017 21:00	16,205	23,386	27,572	27,703
10/07/2017 22:00	16,041	21,032	28,371	26,882
10/07/2017 23:00	11,069	17,015	24,532	26,030

Bảng PL.04: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
04/07/2017 00:00	38,91	28,326	41,516	82,60	28,90
04/07/2017 01:00	37,32	27,369	39,033	66,70	29,50
04/07/2017 02:00	19,48	14,700	20,263	75,70	28,80
04/07/2017 03:00	15,97	12,030	18,901	72,40	28,80
04/07/2017 04:00	15,61	12,287	17,439	72,90	28,50
04/07/2017 05:00	10,37	12,575	18,757	73,80	28,20
04/07/2017 06:00	18,16	14,977	19,239	72,60	28,30
04/07/2017 07:00	36,88	23,285	30,194	71,20	28,70
04/07/2017 08:00	34,38	24,508	32,503	68,60	29,10
04/07/2017 09:00	23,92	25,622	31,098	60,80	31,30
04/07/2017 10:00	24,08	27,469	32,002	58,20	31,90
04/07/2017 11:00	31,33	29,654	35,253	55,80	32,30
04/07/2017 12:00	33,89	29,018	33,114	55,10	32,60
04/07/2017 13:00	19,55	26,802	33,601	55,70	32,70
04/07/2017 14:00	29,38	25,604	31,100	59,70	32,20
04/07/2017 15:00	21,31	23,294	24,304	75,50	28,60
04/07/2017 16:00	10,77	23,756	21,776	79,10	27,50
04/07/2017 17:00	25,97	24,014	31,010	71,80	29,00
04/07/2017 18:00	35,61	24,725	32,946	72,60	29,00
04/07/2017 19:00	25,39	23,641	33,013	75,50	28,90
04/07/2017 20:00	19,72	22,498	30,354	83,90	27,80
04/07/2017 21:00	21,10	21,851	27,878	79,90	27,80
04/07/2017 22:00	23,51	19,006	26,802	77,60	28,70
04/07/2017 23:00	9,44	16,731	27,280	78,00	28,90
05/07/2017 00:00	13,81	17,466	30,793	81,60	28,40
05/07/2017 01:00	26,65	16,959	30,152	81,90	28,40
05/07/2017 02:00	19,96	16,148	25,451	81,60	28,40
05/07/2017 03:00	18,88	15,417	22,419	82,70	28,30

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
05/07/2017 04:00	16,81	17,085	22,844	83,10	28,30
05/07/2017 05:00	25,44	18,127	21,005	84,40	28,20
05/07/2017 06:00	14,74	16,944	20,438	84,90	28,10
05/07/2017 07:00	20,13	15,175	19,084	82,60	28,60
05/07/2017 08:00	13,26	14,509	17,765	79,10	29,20
05/07/2017 09:00	14,08	12,406	18,393	71,20	30,60
05/07/2017 10:00	13,18	11,456	17,208	69,70	30,80
05/07/2017 11:00	13,90	11,766	16,542	72,90	30,00
05/07/2017 12:00	15,87	14,041	17,410	78,50	28,80
05/07/2017 13:00	16,25	16,676	17,401	74,90	28,50
05/07/2017 14:00	15,14	17,600	21,119	68,70	30,30
05/07/2017 15:00	19,28	18,987	22,488	62,20	32,10
05/07/2017 16:00	10,11	19,958	22,628	66,60	30,70
05/07/2017 17:00	10,97	19,141	27,553	63,60	31,10
05/07/2017 18:00	25,41	20,098	30,749	68,60	30,60
05/07/2017 19:00	16,68	20,590	30,402	70,80	30,10
05/07/2017 20:00	20,98	20,774	28,064	74,00	29,70
05/07/2017 21:00	25,99	21,500	28,000	75,60	29,30
05/07/2017 22:00	19,77	20,311	21,832	75,30	29,20
05/07/2017 23:00	8,06	19,133	23,161	76,40	28,90
06/07/2017 00:00	12,54	19,004	25,740	76,70	28,80
06/07/2017 01:00	26,12	19,269	26,028	78,00	28,60
06/07/2017 02:00	18,19	19,000	26,551	83,20	27,50
06/07/2017 03:00	18,50	22,013	27,648	86,80	26,50
06/07/2017 04:00	45,88	24,477	28,525	85,70	27,20
06/07/2017 05:00	28,39	26,494	27,759	84,70	27,60
06/07/2017 06:00	26,84	26,840	26,979	83,10	28,00
06/07/2017 07:00	22,75	23,475	24,884	81,60	28,40
06/07/2017 08:00	35,93	20,604	22,961	79,00	29,10
06/07/2017 09:00	17,25	17,304	23,867	73,20	30,10

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
06/07/2017 10:00	12,42	16,195	24,604	68,80	30,70
06/07/2017 11:00	19,95	15,856	25,702	65,80	31,50
06/07/2017 12:00	18,07	15,980	24,940	63,40	32,30
06/07/2017 13:00	19,19	15,670	22,963	64,80	31,90
06/07/2017 14:00	18,03	15,029	20,842	61,20	33,00
06/07/2017 15:00	18,50	14,425	18,649	69,90	30,60
06/07/2017 16:00	18,13	15,717	20,911	60,70	31,80
06/07/2017 17:00	25,03	18,944	27,425	58,60	31,30
06/07/2017 18:00	27,40	19,041	26,800	71,60	29,50
06/07/2017 19:00	23,13	19,415	27,615	73,00	29,50
06/07/2017 20:00	26,46	20,317	29,540	72,20	30,00
06/07/2017 21:00	12,13	23,621	31,000	74,90	29,50
06/07/2017 22:00	20,55	25,652	32,761	76,40	29,30
06/07/2017 23:00	37,35	28,217	33,674	78,00	29,10
07/07/2017 00:00	30,50	28,832	34,097	78,80	29,00
07/07/2017 01:00	22,95	27,005	30,375	79,70	28,90
07/07/2017 02:00	16,48	26,232	25,601	81,60	28,70
07/07/2017 03:00	11,57	24,885	24,756	82,40	28,60
07/07/2017 04:00	21,86	23,997	27,400	82,00	28,60
07/07/2017 05:00	38,47	23,273	28,472	82,10	28,50
07/07/2017 06:00	30,69	23,057	28,030	83,60	28,40
07/07/2017 07:00	24,74	22,746	27,564	82,10	28,70
07/07/2017 08:00	16,42	21,401	23,881	78,00	28,20
07/07/2017 09:00	11,73	20,036	22,733	72,60	29,80
07/07/2017 10:00	18,23	17,561	22,543	78,30	28,80
07/07/2017 11:00	17,41	16,803	22,038	74,70	29,60
07/07/2017 12:00	21,63	16,682	21,012	78,60	29,10
07/07/2017 13:00	14,81	17,082	19,829	72,80	30,20
07/07/2017 14:00	11,72	18,139	18,659	65,30	31,70
07/07/2017 15:00	14,11	20,754	20,249	65,10	32,00

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
07/07/2017 16:00	26,09	22,272	24,260	66,90	31,60
07/07/2017 17:00	23,76	24,197	26,340	64,40	31,50
07/07/2017 18:00	29,44	25,613	27,659	67,40	30,30
07/07/2017 19:00	29,92	24,792	28,609	74,50	28,80
07/07/2017 20:00	21,24	21,427	27,772	86,50	28,40
07/07/2017 21:00	16,65	14,873	24,408	90,90	24,90
07/07/2017 22:00	1,14	13,572	22,614	91,20	25,60
07/07/2017 23:00	29,96	12,982	21,666	88,70	25,20
08/07/2017 00:00	12,86	12,154	20,082	87,10	25,20
08/07/2017 01:00	8,73	9,865	18,137	88,70	25,40
08/07/2017 02:00	6,57	8,447	17,329	86,90	25,50
08/07/2017 03:00	7,37	8,894	15,464	86,40	25,70
08/07/2017 04:00	8,18	10,124	14,315	86,80	25,60
08/07/2017 05:00	17,55	13,683	14,637	88,70	25,30
08/07/2017 06:00	21,11	16,949	20,130	89,40	25,40
08/07/2017 07:00	19,45	17,614	20,992	85,50	25,90
08/07/2017 08:00	17,72	18,990	21,922	81,40	26,50
08/07/2017 09:00	29,03	20,974	22,710	75,90	28,00
08/07/2017 10:00	20,70	21,053	23,116	74,60	28,40
08/07/2017 11:00	22,53	22,266	24,701	68,80	29,90
08/07/2017 12:00	33,85	23,174	27,080	67,70	30,20
08/07/2017 13:00	27,49	23,840	26,203	61,80	31,70
08/07/2017 14:00	25,70	25,340	27,109	63,90	31,40
08/07/2017 15:00	28,81	28,319	30,072	61,30	32,30
08/07/2017 16:00	39,22	27,676	31,886	64,10	32,30
08/07/2017 17:00	20,46	28,390	31,249	73,00	29,90
08/07/2017 18:00	31,03	27,598	28,009	73,00	30,00
08/07/2017 19:00	21,27	19,703	20,149	84,50	26,60
08/07/2017 20:00	16,84	15,462	16,331	87,50	26,00
08/07/2017 21:00	16,27	14,987	16,106	87,20	26,20

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/07/2017 22:00	10,70	16,151	18,342	86,10	26,30
08/07/2017 23:00	12,84	17,999	20,402	86,30	26,40
09/07/2017 00:00	20,43	20,379	25,674	80,70	27,20
09/07/2017 01:00	19,56	20,964	26,078	80,40	27,10
09/07/2017 02:00	33,34	18,052	26,216	85,30	26,80
09/07/2017 03:00	18,84	16,344	28,883	87,20	26,70
09/07/2017 04:00	11,98	17,823	30,724	86,70	26,70
09/07/2017 05:00	22,00	19,778	30,281	85,20	26,80
09/07/2017 06:00	26,30	20,382	27,839	83,70	27,00
09/07/2017 07:00	19,72	20,294	22,182	79,50	27,30
09/07/2017 08:00	15,40	20,188	20,500	77,30	28,00
09/07/2017 09:00	21,15	19,886	19,359	73,60	28,80
09/07/2017 10:00	18,04	16,966	20,948	69,60	29,70
09/07/2017 11:00	15,08	14,167	21,122	67,20	30,40
09/07/2017 12:00	13,88	13,627	19,221	62,10	31,30
09/07/2017 13:00	21,56	14,586	20,225	60,70	32,20
09/07/2017 14:00	20,49	15,165	22,286	59,30	32,60
09/07/2017 15:00	19,50	15,755	23,909	58,60	32,40
09/07/2017 16:00	21,90	18,155	24,668	55,90	32,80
09/07/2017 17:00	25,66	19,249	26,403	59,10	32,70
09/07/2017 18:00	18,51	20,370	26,449	60,30	32,10
09/07/2017 19:00	26,76	22,218	27,282	64,40	31,70
09/07/2017 20:00	28,97	23,107	28,786	69,10	31,10
09/07/2017 21:00	20,61	23,111	27,258	65,40	31,00
09/07/2017 22:00	26,14	22,451	26,880	74,40	30,10
09/07/2017 23:00	18,18	19,096	23,475	73,50	30,20
10/07/2017 00:00	17,51	17,655	20,125	78,20	29,90
10/07/2017 01:00	14,33	17,647	20,765	78,80	29,60
10/07/2017 02:00	25,87	19,461	21,951	79,20	29,50
10/07/2017 03:00	26,05	20,688	24,158	78,60	29,40

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
10/07/2017 04:00	27,42	21,245	25,761	78,00	29,20
10/07/2017 05:00	17,74	19,398	26,030	76,30	29,20
10/07/2017 06:00	13,67	18,870	26,398	76,10	29,00
10/07/2017 07:00	20,02	19,997	27,116	80,30	28,70
10/07/2017 08:00	24,62	22,985	29,023	84,00	28,70
10/07/2017 09:00	33,40	27,036	29,929	82,10	29,20
10/07/2017 10:00	37,03	27,352	30,027	77,20	29,70
10/07/2017 11:00	31,46	27,651	29,536	67,70	31,20
10/07/2017 12:00	25,89	23,519	27,629	68,90	30,60
10/07/2017 13:00	20,32	17,597	22,668	65,90	29,90
10/07/2017 14:00	14,73	15,648	21,774	66,90	29,40
10/07/2017 15:00	13,43	14,398	20,258	67,40	29,30
10/07/2017 16:00	16,08	15,276	21,647	72,80	29,20
10/07/2017 17:00	31,64	20,067	22,351	75,30	28,90
10/07/2017 18:00	39,85	21,938	23,856	74,50	28,60
10/07/2017 19:00	16,80	22,882	24,934	77,60	28,30
10/07/2017 20:00	27,33	26,347	26,795	83,40	26,90
10/07/2017 21:00	30,02	27,414	27,621	85,30	26,30
10/07/2017 22:00	25,41	26,507	29,302	84,20	26,50
10/07/2017 23:00	24,10	23,603	27,918	84,60	26,40

Bảng PL.05: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 04/07/2017 đến 23 giờ ngày 10/07/2017

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
04/07/2017 00:00	31,22	33,17	40,53	91,20	27,70
04/07/2017 01:00	18,10	30,41	41,86	90,90	27,70
04/07/2017 02:00	28,15	30,60	42,24	81,80	27,80
04/07/2017 03:00	27,18	31,05	42,86	82,30	28,00
04/07/2017 04:00	30,56	29,47	44,09	82,00	27,70
04/07/2017 05:00	26,71	29,28	45,69	81,90	27,50
04/07/2017 06:00	42,78	28,98	46,51	82,40	27,50
04/07/2017 07:00	35,11	27,42	43,37	79,50	28,20
04/07/2017 08:00	25,54	26,11	39,98	74,20	29,40
04/07/2017 09:00	16,93	26,75	42,19	74,00	31,20
04/07/2017 10:00	12,37	29,35	45,04	73,40	31,20
04/07/2017 11:00	37,58	36,45	47,62	70,60	32,40
04/07/2017 12:00	56,63	38,94	50,30	67,50	32,60
04/07/2017 13:00	45,57	40,38	52,55	64,30	32,90
04/07/2017 14:00	24,20	41,53	54,94	66,40	31,50
04/07/2017 15:00	63,08	42,31	56,82	84,00	28,00
04/07/2017 16:00	31,49	45,61	57,25	90,10	25,80
04/07/2017 17:00	60,44	47,93	57,34	88,70	26,70
04/07/2017 18:00	50,53	48,93	64,50	88,50	26,50
04/07/2017 19:00	51,30	50,48	67,05	87,40	27,20
04/07/2017 20:00	96,52	48,85	67,51	92,60	26,60
04/07/2017 21:00	76,30	47,72	59,54	92,30	26,60
04/07/2017 22:00	33,37	38,46	53,29	92,70	26,70
04/07/2017 23:00	24,80	27,56	48,78	93,10	27,10
05/07/2017 00:00	17,68	25,77	46,99	93,80	26,80
05/07/2017 01:00	12,44	24,83	45,94	91,00	27,30
05/07/2017 02:00	21,83	25,00	45,24	90,50	27,40
05/07/2017 03:00	30,26	30,64	45,61	94,60	26,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
05/07/2017 04:00	32,40	33,45	47,30	93,60	27,10
05/07/2017 05:00	44,37	37,62	56,69	93,30	27,10
05/07/2017 06:00	47,41	38,58	58,77	93,60	27,10
05/07/2017 07:00	39,22	37,69	53,96	89,50	28,10
05/07/2017 08:00	15,41	29,70	37,31	81,90	29,30
05/07/2017 09:00	16,73	22,96	30,03	75,40	30,20
05/07/2017 10:00	17,43	23,32	27,15	70,90	31,60
05/07/2017 11:00	17,17	25,99	31,20	76,50	30,10
05/07/2017 12:00	27,52	27,95	35,56	90,90	26,80
05/07/2017 13:00	24,39	28,48	37,78	94,10	25,10
05/07/2017 14:00	31,53	30,50	42,56	92,30	27,80
05/07/2017 15:00	29,44	33,54	44,73	74,50	30,60
05/07/2017 16:00	35,98	33,40	43,80	75,30	30,70
05/07/2017 17:00	23,85	31,38	43,17	79,40	29,90
05/07/2017 18:00	29,82	30,31	43,18	84,40	28,90
05/07/2017 19:00	25,77	29,92	38,94	88,40	28,40
05/07/2017 20:00	27,05	28,14	36,13	77,50	29,30
05/07/2017 21:00	21,26	25,07	32,35	78,20	29,10
05/07/2017 22:00	5,11	21,82	31,21	78,00	28,90
05/07/2017 23:00	9,15	21,91	31,57	79,80	28,70
06/07/2017 00:00	30,92	21,90	31,84	81,00	28,30
06/07/2017 01:00	24,74	21,20	32,39	81,00	28,40
06/07/2017 02:00	21,88	22,73	35,92	86,80	26,80
06/07/2017 03:00	23,98	23,97	34,44	93,80	25,30
06/07/2017 04:00	20,70	26,25	33,26	94,90	25,50
06/07/2017 05:00	23,39	27,03	34,51	94,10	25,90
06/07/2017 06:00	29,98	30,06	35,97	95,10	26,10
06/07/2017 07:00	28,35	31,72	36,27	93,30	27,10
06/07/2017 08:00	25,61	31,82	33,58	90,00	28,00
06/07/2017 09:00	16,32	20,64	30,47	80,10	30,10

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
06/07/2017 10:00	5,29	19,52	27,31	74,10	30,90
06/07/2017 11:00	12,46	18,64	24,13	69,00	32,10
06/07/2017 12:00	15,76	17,39	25,36	63,50	33,20
06/07/2017 13:00	15,96	18,86	26,51	64,40	33,40
06/07/2017 14:00	13,52	20,18	28,95	65,60	32,30
06/07/2017 15:00	18,53	20,55	31,18	64,20	32,60
06/07/2017 16:00	15,54	20,65	32,68	71,50	30,80
06/07/2017 17:00	17,16	22,66	33,79	66,60	31,20
06/07/2017 18:00	27,56	23,20	36,21	68,00	30,70
06/07/2017 19:00	26,10	24,70	36,57	73,40	30,30
06/07/2017 20:00	12,09	26,79	38,83	74,80	30,10
06/07/2017 21:00	16,11	28,77	40,87	75,70	29,70
06/07/2017 22:00	33,25	29,34	41,62	76,50	29,30
06/07/2017 23:00	25,84	31,75	41,79	79,80	29,10
07/07/2017 00:00	43,52	33,36	40,90	80,90	29,10
07/07/2017 01:00	30,10	36,46	40,57	81,80	29,00
07/07/2017 02:00	35,61	36,92	38,93	82,90	28,90
07/07/2017 03:00	20,32	34,05	37,11	90,80	27,70
07/07/2017 04:00	28,34	30,51	38,93	89,70	27,80
07/07/2017 05:00	26,22	27,54	37,67	89,50	27,70
07/07/2017 06:00	25,74	26,63	36,07	88,70	28,00
07/07/2017 07:00	41,57	23,29	30,91	88,30	28,40
07/07/2017 08:00	18,38	21,46	29,24	78,80	28,90
07/07/2017 09:00	15,13	23,30	33,02	72,80	30,70
07/07/2017 10:00	29,78	25,83	37,31	71,70	31,20
07/07/2017 11:00	20,10	26,06	37,20	73,40	31,00
07/07/2017 12:00	22,03	25,23	31,80	75,20	30,80
07/07/2017 13:00	11,51	26,26	32,82	75,20	30,70
07/07/2017 14:00	32,30	37,01	44,49	69,20	32,00
07/07/2017 15:00	49,11	38,59	47,60	68,40	32,20

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/07/2017 16:00	32,26	36,30	45,30	65,60	32,80
07/07/2017 17:00	25,97	31,45	42,08	68,20	31,90
07/07/2017 18:00	23,95	28,96	39,98	67,30	30,10
07/07/2017 19:00	34,21	26,24	38,54	81,70	28,00
07/07/2017 20:00	28,07	25,13	36,37	88,50	27,60
07/07/2017 21:00	20,19	23,62	33,99	94,00	25,70
07/07/2017 22:00	27,23	22,02	30,71	94,90	25,20
07/07/2017 23:00	15,33	21,04	28,75	94,20	24,80
08/07/2017 00:00	15,54	21,29	28,24	94,30	25,10
08/07/2017 01:00	18,91	20,82	27,28	94,70	24,90
08/07/2017 02:00	15,94	20,37	27,90	94,90	24,90
08/07/2017 03:00	17,47	21,46	30,98	93,50	25,00
08/07/2017 04:00	20,40	22,64	29,66	93,30	25,10
08/07/2017 05:00	14,04	20,59	28,77	93,20	25,10
08/07/2017 06:00	18,75	21,39	28,01	94,90	25,20
08/07/2017 07:00	26,85	21,70	27,45	95,10	25,60
08/07/2017 08:00	22,89	21,88	27,72	93,10	25,90
08/07/2017 09:00	18,97	22,81	27,60	86,50	26,90
08/07/2017 10:00	20,37	25,08	31,47	78,50	28,70
08/07/2017 11:00	20,18	27,27	33,88	72,90	30,20
08/07/2017 12:00	25,84	28,25	36,42	68,70	31,60
08/07/2017 13:00	24,56	25,44	37,05	64,20	32,60
08/07/2017 14:00	22,14	23,41	36,88	60,90	33,50
08/07/2017 15:00	17,69	24,32	35,05	65,00	32,20
08/07/2017 16:00	20,59	23,38	32,78	63,80	32,30
08/07/2017 17:00	16,97	20,43	30,99	66,70	31,90
08/07/2017 18:00	15,79	20,63	30,47	90,80	26,50
08/07/2017 19:00	17,03	18,57	30,03	94,80	25,40
08/07/2017 20:00	14,30	17,09	29,40	94,90	25,50
08/07/2017 21:00	11,32	15,31	26,78	94,50	25,70

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/07/2017 22:00	11,16	16,20	27,05	94,00	26,10
08/07/2017 23:00	17,08	19,74	30,84	94,40	25,90
09/07/2017 00:00	24,29	24,20	32,63	94,40	25,80
09/07/2017 01:00	19,38	28,68	34,70	92,60	25,80
09/07/2017 02:00	26,22	31,23	36,99	93,40	25,70
09/07/2017 03:00	29,65	30,38	37,08	93,10	25,90
09/07/2017 04:00	25,26	26,74	37,63	92,30	26,10
09/07/2017 05:00	26,03	26,06	38,09	93,10	26,10
09/07/2017 06:00	24,84	23,42	35,81	91,80	26,30
09/07/2017 07:00	16,93	23,98	37,17	89,90	26,80
09/07/2017 08:00	25,30	24,53	39,49	81,90	28,10
09/07/2017 09:00	31,89	26,38	38,71	78,30	28,80
09/07/2017 10:00	22,85	27,97	38,87	76,00	29,50
09/07/2017 11:00	38,52	30,09	39,87	71,70	30,80
09/07/2017 12:00	27,97	29,75	39,28	64,80	32,10
09/07/2017 13:00	23,59	27,75	37,90	63,70	32,60
09/07/2017 14:00	19,21	28,54	35,98	65,90	32,20
09/07/2017 15:00	25,03	29,71	37,12	66,70	32,00
09/07/2017 16:00	35,11	30,40	38,25	61,50	32,90
09/07/2017 17:00	25,44	31,73	39,09	64,40	32,20
09/07/2017 18:00	32,78	37,20	43,88	67,80	31,70
09/07/2017 19:00	48,72	45,68	52,24	70,70	31,00
09/07/2017 20:00	52,65	44,90	52,80	74,70	30,60
09/07/2017 21:00	24,10	40,28	51,33	75,30	30,30
09/07/2017 22:00	23,10	38,88	48,51	75,30	30,10
09/07/2017 23:00	38,39	37,96	46,37	77,70	29,90
10/07/2017 00:00	29,99	35,89	42,30	77,60	29,80
10/07/2017 01:00	20,32	33,64	40,86	81,90	29,40
10/07/2017 02:00	26,66	32,67	39,75	82,70	29,10
10/07/2017 03:00	38,49	32,45	40,15	78,80	29,20

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
10/07/2017 04:00	28,60	32,56	40,59	79,70	29,10
10/07/2017 05:00	33,45	31,46	38,30	82,50	28,50
10/07/2017 06:00	28,21	29,87	36,33	85,60	28,40
10/07/2017 07:00	20,63	25,57	36,51	89,90	28,10
10/07/2017 08:00	22,33	26,07	37,21	88,50	28,50
10/07/2017 09:00	25,87	28,86	36,72	83,70	29,30
10/07/2017 10:00	27,00	32,36	38,07	76,90	30,10
10/07/2017 11:00	18,28	34,85	39,70	71,00	30,60
10/07/2017 12:00	33,51	35,36	40,92	69,50	30,50
10/07/2017 13:00	31,76	32,32	40,53	69,40	29,90
10/07/2017 14:00	23,11	27,73	38,39	68,10	29,40
10/07/2017 15:00	16,94	26,51	36,61	72,60	29,00
10/07/2017 16:00	15,43	26,59	36,44	79,20	28,90
10/07/2017 17:00	24,99	24,17	37,01	76,40	28,50
10/07/2017 18:00	18,56	24,90	39,98	77,80	28,70
10/07/2017 19:00	28,47	30,15	43,53	80,70	27,90
10/07/2017 20:00	44,54	34,57	45,76	88,80	26,90
10/07/2017 21:00	38,05	35,11	47,72	90,70	26,10
10/07/2017 22:00	32,92	34,84	46,07	89,30	26,30
10/07/2017 23:00	27,90	34,18	42,30	89,20	26,30

Bảng PL.06: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Nguyễn Văn Cừ (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
06/09/2017 00:00	8,811	17,672	25,226		29,191
06/09/2017 01:00	10,874	18,683	22,866		28,880
06/09/2017 02:00	14,979	20,389	23,770		28,503
06/09/2017 03:00	18,454	23,399	28,678		28,241
06/09/2017 04:00	19,360	27,411	32,235		27,946
06/09/2017 05:00	17,572	28,298	30,814		27,732
06/09/2017 06:00	16,786	27,610	29,067		27,627
06/09/2017 07:00	18,110	25,472	31,025		27,904
06/09/2017 08:00	20,960	26,336	31,808		28,579
06/09/2017 09:00	20,915	29,662	30,925		29,576
06/09/2017 10:00	25,377	31,372	31,375		30,731
06/09/2017 11:00	22,454	28,143	32,379		31,555
06/09/2017 12:00	21,222	26,532	32,054		32,044
06/09/2017 13:00	14,362	24,119	27,075		32,973
06/09/2017 14:00	15,168	24,768	27,627		33,082
06/09/2017 15:00	19,878	27,613	28,685		32,772
06/09/2017 16:00	18,620	28,891	29,603		32,662
06/09/2017 17:00	20,263	27,513	27,498		32,643
06/09/2017 18:00	15,024	25,576	25,884		31,939
06/09/2017 19:00	16,802	24,547	26,522		31,323
06/09/2017 20:00	18,489	23,447	27,588		30,951
06/09/2017 21:00	14,627	20,742	24,219		30,669
06/09/2017 22:00	10,766	18,529	22,317		30,501
06/09/2017 23:00	14,950	20,125	21,911		30,263
07/09/2017 00:00	14,127	24,958	22,765		29,969
07/09/2017 01:00	17,114	25,551	24,751		29,787
07/09/2017 02:00	16,772	26,458	29,447		29,444
07/09/2017 03:00	12,292	29,033	32,710		28,905

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/09/2017 04:00	31,797	35,682	41,557		28,092
07/09/2017 05:00	30,388	37,794	41,600		27,906
07/09/2017 06:00	27,279	35,106	39,273		27,872
07/09/2017 07:00	12,220	20,229	20,650		27,712
07/09/2017 08:00	10,481	18,613	19,460		27,771
07/09/2017 09:00	14,818	20,227	24,586		28,534
07/09/2017 10:00	13,754	21,819	27,143		29,131
07/09/2017 11:00	22,580	22,871	28,415		29,657
07/09/2017 12:00	9,039	20,956	26,568		30,890
07/09/2017 13:00	9,940	20,578	24,733		31,613
07/09/2017 14:00	10,438	20,948	22,832		31,252
07/09/2017 15:00	7,534	19,133	21,181		28,442
07/09/2017 16:00	9,398	20,830	22,076		27,883
07/09/2017 17:00	15,085	22,138	26,595		28,111
07/09/2017 18:00	12,822	23,521	27,027		27,730
07/09/2017 19:00	16,657	24,070	26,293		27,260
07/09/2017 20:00	14,787	21,544	23,304		27,161
07/09/2017 21:00	12,496	21,517	21,401		27,288
07/09/2017 22:00	12,928	22,647	25,506		27,299
07/09/2017 23:00	14,910	23,049	25,246		27,229
08/09/2017 00:00	13,685	25,378	26,247		27,100
08/09/2017 01:00	18,578	28,212	26,955		27,000
08/09/2017 02:00	22,818	31,878	31,052		26,936
08/09/2017 03:00	23,513	33,682	32,322		26,799
08/09/2017 04:00	28,605	36,152	36,535		26,734
08/09/2017 05:00	30,777	38,974	38,346		26,871
08/09/2017 06:00	32,324	41,414	41,770		26,769
08/09/2017 07:00	30,528	39,317	39,734		27,064
08/09/2017 08:00	21,268	32,367	34,481		28,003
08/09/2017 09:00	19,783	27,077	30,568		29,082

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/09/2017 10:00	14,703	24,533	28,643		30,115
08/09/2017 11:00	16,020	22,847	26,913		30,455
08/09/2017 12:00	19,471	20,768	24,486		29,437
08/09/2017 13:00	8,203	16,414	22,115		26,598
08/09/2017 14:00	9,714	15,314	21,136		26,276
08/09/2017 15:00	9,755	16,130	22,286		26,423
08/09/2017 16:00	15,365	20,139	23,231		26,460
08/09/2017 17:00	17,230	24,574	29,451		27,094
08/09/2017 18:00	18,195	28,168	32,628		28,294
08/09/2017 19:00	25,817	30,693	33,287		28,261
08/09/2017 20:00	19,187	27,366	30,536		28,168
08/09/2017 21:00	11,251	24,572	30,312		28,104
08/09/2017 22:00	17,858	23,602	29,494		27,853
08/09/2017 23:00	19,069	24,289	27,344		28,114
09/09/2017 00:00	14,325	24,645	28,902		28,217
09/09/2017 01:00	17,627	27,195	30,138		27,993
09/09/2017 02:00	24,471	31,594	33,149		27,771
09/09/2017 03:00	20,010	31,159	31,322		27,675
09/09/2017 04:00	18,439	27,911	27,144		27,554
09/09/2017 05:00	8,850	26,371	27,433		26,479
09/09/2017 06:00	18,003	25,160	25,513		26,906
09/09/2017 07:00	13,135	23,431	24,468		27,231
09/09/2017 08:00	6,083	17,577	20,734		26,513
09/09/2017 09:00	5,360	17,037	13,682		26,270
09/09/2017 10:00	8,023	18,626	17,616		26,015
09/09/2017 11:00	14,246	20,393	25,143		26,232
09/09/2017 12:00	15,628	21,688	23,569		26,595
09/09/2017 13:00	15,192	21,671	23,703		27,033
09/09/2017 14:00	9,382	22,043	20,055		27,418
09/09/2017 15:00	13,013	22,198	20,433		28,680

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/09/2017 16:00	12,838	20,815	22,752		29,121
09/09/2017 17:00	10,714	20,385	22,594		29,234
09/09/2017 18:00	11,121	19,579	21,820		29,070
09/09/2017 19:00	12,268	18,705	20,585		28,711
09/09/2017 20:00	11,293	17,935	19,791		28,300
09/09/2017 21:00	8,727	18,336	18,994		27,995
09/09/2017 22:00	10,351	16,685	21,763		27,763
09/09/2017 23:00	8,672	14,723	20,083		27,039
10/09/2017 00:00	8,093	14,787	18,538		26,330
10/09/2017 01:00	7,533	15,019	18,880		26,238
10/09/2017 02:00	7,579	15,364	19,174		26,129
10/09/2017 03:00	1,905	15,813	19,823		25,251
10/09/2017 04:00	4,546	16,072	19,458		24,444
10/09/2017 05:00	5,200	16,766	19,740		24,348
10/09/2017 06:00	8,710	18,940	18,414		24,783
10/09/2017 07:00	8,314	18,461	17,860		24,704
10/09/2017 08:00	8,063	20,627	17,458		24,787
10/09/2017 09:00	12,257	23,708	22,245		24,834
10/09/2017 10:00	17,325	26,432	26,519		25,618
10/09/2017 11:00	15,643	26,189	27,639		27,719
10/09/2017 12:00	14,773	23,728	22,774		30,065
10/09/2017 13:00	14,470	23,587	21,846		31,324
10/09/2017 14:00	12,813	24,112	21,186		32,457
10/09/2017 15:00	16,430	26,242	26,998		32,083
10/09/2017 16:00	18,192	27,607	27,196		31,715
10/09/2017 17:00	13,269	28,436	28,057		31,658
10/09/2017 18:00	17,904	27,580	27,993		31,088
10/09/2017 19:00	17,501	24,607	26,708		30,099
10/09/2017 20:00	16,077	22,597	24,473		29,657
10/09/2017 21:00	11,233	22,570	25,615		29,315

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
10/09/2017 22:00	15,501	23,894	25,941		28,981
10/09/2017 23:00	13,423	23,777	23,917		28,617
11/09/2017 00:00	10,663	22,174	22,556		28,366
11/09/2017 01:00	10,741	20,797	21,492		28,113
11/09/2017 02:00	9,875	18,052	19,436		27,933
11/09/2017 03:00	11,346	18,369	19,802		27,920
11/09/2017 04:00	18,154	20,363	28,592		27,862
11/09/2017 05:00	17,815	20,779	30,455		27,783
11/09/2017 06:00	4,098	14,782	18,286		25,655
11/09/2017 07:00	2,695	13,732	18,913		24,188
11/09/2017 08:00	7,243	16,148	18,988		24,047
11/09/2017 09:00	9,980	18,466	21,395		24,755
11/09/2017 10:00	13,515	19,457	22,034		25,631
11/09/2017 11:00	13,989	20,583	23,839		26,584
11/09/2017 12:00	12,673	20,893	25,843		27,603
11/09/2017 13:00	11,939	19,901	23,759		28,136
11/09/2017 14:00	10,401	18,522	23,481		28,888
11/09/2017 15:00	6,862	15,732	17,980		29,656
11/09/2017 16:00	7,610	16,037	16,712		30,109
11/09/2017 17:00	8,905	16,204	20,454		30,130
11/09/2017 18:00	12,063	19,344	21,229		29,939
11/09/2017 19:00	13,813	22,471	24,304		29,560
11/09/2017 20:00	15,615	26,875	27,314		28,757
11/09/2017 21:00	24,608	32,554	31,685		28,406
11/09/2017 22:00	30,818	37,211	42,161		28,150
11/09/2017 23:00	36,418	46,557	55,939		28,036
12/09/2017 00:00	63,119	54,731	64,266		27,957
12/09/2017 01:00	54,687	57,638	67,226		27,597
12/09/2017 02:00	52,678	59,762	67,727		27,283
12/09/2017 03:00	54,995	60,011	67,597		27,023

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
12/09/2017 04:00	54,360	58,920	64,505		26,770
12/09/2017 05:00	41,838	56,956	63,459		26,634
12/09/2017 06:00	63,107	56,488	62,282		26,486
12/09/2017 07:00	51,229	54,907	60,239		26,617
12/09/2017 08:00	43,781	51,704	54,855		27,402
12/09/2017 09:00	35,402	42,579	48,007		28,498
12/09/2017 10:00	22,471	38,363	43,825		29,610
12/09/2017 11:00	26,098	35,284	41,908		30,740
12/09/2017 12:00	26,172	32,804	38,439		31,423
12/09/2017 13:00	26,286	34,178	34,031		32,185
12/09/2017 14:00	22,890	32,682	33,805		32,229
12/09/2017 15:00	22,740	31,911	33,674		31,552
12/09/2017 16:00	22,791	29,075	31,553		30,741
12/09/2017 17:00	17,975	24,732	29,715		30,004
12/09/2017 18:00	13,511	23,560	26,334		29,156
12/09/2017 19:00	16,357	26,118	28,380		28,720
12/09/2017 20:00	21,393	27,635	30,812		28,493
12/09/2017 21:00	22,323	28,494	30,050		28,306
12/09/2017 22:00	20,419	29,433	29,507		28,307
12/09/2017 23:00	24,158	29,734	31,708		28,206

Bảng PL.07: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
06/09/2017 00:00	28,01	32,69	36,56	76,60	28,80
06/09/2017 01:00	37,51	29,72	34,29	77,60	28,50
06/09/2017 02:00	25,26	23,59	32,92	79,00	28,30
06/09/2017 03:00	21,48	21,00	34,09	80,00	28,10
06/09/2017 04:00	22,93	22,11	35,37	85,00	27,60
06/09/2017 05:00	24,29	24,96	37,72	85,70	27,50
06/09/2017 06:00	26,19	26,18	38,09	85,60	27,50
06/09/2017 07:00	31,67	28,73	36,37	84,50	27,90
06/09/2017 08:00	37,16	27,96	34,90	76,70	29,30
06/09/2017 09:00	18,94	22,93	31,71	72,00	30,10
06/09/2017 10:00	20,30	22,51	28,17	66,20	31,20
06/09/2017 11:00	23,68	22,35	28,42	67,20	31,40
06/09/2017 12:00	16,01	20,65	24,39	61,20	32,20
06/09/2017 13:00	18,90	18,91	23,76	61,00	32,70
06/09/2017 14:00	12,29	19,29	25,32	61,20	32,80
06/09/2017 15:00	21,53	21,48	32,56	64,30	32,30
06/09/2017 16:00	24,22	22,30	34,70	60,90	32,70
06/09/2017 17:00	22,84	24,64	37,23	62,10	32,30
06/09/2017 18:00	37,05	27,03	39,07	73,20	31,10
06/09/2017 19:00	31,29	27,76	38,99	76,70	30,60
06/09/2017 20:00	24,35	26,79	35,23	78,10	30,30
06/09/2017 21:00	23,48	25,30	32,56	79,20	29,80
06/09/2017 22:00	22,04	22,39	31,01	78,70	29,90
06/09/2017 23:00	18,77	20,49	29,28	78,40	29,80
07/09/2017 00:00	16,99	16,80	28,14	80,10	29,50
07/09/2017 01:00	13,71	15,56	28,16	80,90	29,40
07/09/2017 02:00	14,73	16,17	27,66	80,80	29,30
07/09/2017 03:00	15,96	15,36	27,07	83,80	29,00

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
07/09/2017 04:00	11,72	13,64	26,13	83,50	28,10
07/09/2017 05:00	12,26	13,03	24,79	83,40	27,90
07/09/2017 06:00	15,09	13,31	26,84	84,40	27,90
07/09/2017 07:00	17,95	15,66	25,98	77,10	27,00
07/09/2017 08:00	18,28	17,18	23,59	74,90	27,80
07/09/2017 09:00	16,53	18,91	28,70	75,70	28,30
07/09/2017 10:00	23,82	20,45	32,04	75,80	28,70
07/09/2017 11:00	21,82	21,32	30,45	71,70	29,40
07/09/2017 12:00	19,56	18,37	27,45	62,60	31,80
07/09/2017 13:00	13,66	15,21	21,23	64,60	31,30
07/09/2017 14:00	12,08	14,66	19,73	66,60	30,90
07/09/2017 15:00	14,82	16,57	27,74	76,20	27,60
07/09/2017 16:00	20,50	18,88	30,60	73,80	27,70
07/09/2017 17:00	22,85	23,34	31,18	76,60	26,90
07/09/2017 18:00	23,28	25,45	31,71	80,00	26,70
07/09/2017 19:00	26,12	25,98	32,37	77,50	27,00
07/09/2017 20:00	22,24	24,19	31,50	74,90	27,20
07/09/2017 21:00	21,28	22,10	30,06	77,60	26,90
07/09/2017 22:00	24,08	20,49	30,31	74,00	27,10
07/09/2017 23:00	15,04	18,14	29,17	76,60	27,10
08/09/2017 00:00	14,28	16,75	26,86	78,40	27,00
08/09/2017 01:00	15,92	18,03	25,12	79,60	27,00
08/09/2017 02:00	20,21	19,82	24,96	80,80	27,00
08/09/2017 03:00	20,59	20,26	24,38	81,60	26,90
08/09/2017 04:00	22,69	24,33	28,92	81,20	26,90
08/09/2017 05:00	23,29	25,38	30,12	79,20	26,70
08/09/2017 06:00	22,22	25,96	32,68	78,40	26,80
08/09/2017 07:00	26,61	26,03	31,76	77,00	27,40
08/09/2017 08:00	28,53	24,53	29,91	76,50	28,10
08/09/2017 09:00	17,24	21,67	26,43	76,50	28,80

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
08/09/2017 10:00	20,02	18,83	25,71	81,40	28,70
08/09/2017 11:00	15,03	17,47	25,52	75,40	29,90
08/09/2017 12:00	16,03	15,93	23,91	76,80	28,80
08/09/2017 13:00	18,87	14,61	20,84	81,70	27,80
08/09/2017 14:00	12,14	13,77	19,09	81,50	28,30
08/09/2017 15:00	11,99	13,51	19,19	81,80	28,30
08/09/2017 16:00	12,08	14,51	19,76	78,80	28,40
08/09/2017 17:00	15,34	15,91	24,35	77,00	28,90
08/09/2017 18:00	21,89	20,54	26,75	80,40	28,50
08/09/2017 19:00	22,11	23,14	28,40	82,20	28,60
08/09/2017 20:00	20,75	23,26	30,15	83,40	27,60
08/09/2017 21:00	21,87	23,94	31,70	86,60	27,60
08/09/2017 22:00	25,05	25,31	34,78	86,70	28,10
08/09/2017 23:00	32,38	26,55	36,02	87,60	28,10
09/09/2017 00:00	33,14	28,81	35,72	88,20	27,90
09/09/2017 01:00	27,54	29,28	33,96	87,80	27,80
09/09/2017 02:00	28,74	28,85	33,76	87,50	27,80
09/09/2017 03:00	26,36	29,10	36,23	87,40	27,70
09/09/2017 04:00	25,91	26,70	35,90	88,00	27,70
09/09/2017 05:00	23,66	25,79	34,41	88,60	27,90
09/09/2017 06:00	26,89	27,84	35,51	88,60	27,90
09/09/2017 07:00	38,33	28,71	33,90	86,60	28,20
09/09/2017 08:00	27,12	26,20	31,17	81,20	28,00
09/09/2017 09:00	11,63	19,39	26,89	80,60	27,50
09/09/2017 10:00	12,73	16,38	25,77	79,60	27,80
09/09/2017 11:00	15,25	14,82	25,53	79,90	27,70
09/09/2017 12:00	20,02	13,01	24,85	81,30	28,20
09/09/2017 13:00	13,93	14,38	23,95	82,50	28,40
09/09/2017 14:00	20,69	19,16	26,55	78,40	29,30
09/09/2017 15:00	27,67	22,76	29,87	80,90	28,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
09/09/2017 16:00	27,98	26,64	30,90	79,30	29,30
09/09/2017 17:00	27,70	28,79	32,18	79,50	29,10
09/09/2017 18:00	24,37	27,67	29,87	81,50	28,60
09/09/2017 19:00	36,71	25,07	25,70	83,40	28,40
09/09/2017 20:00	31,59	23,33	20,14	84,40	28,10
09/09/2017 21:00	12,68	20,55	19,50	82,60	27,90
09/09/2017 22:00	12,36	20,61	20,83	83,40	27,60
09/09/2017 23:00	24,81	23,96	29,96	85,80	26,50
10/09/2017 00:00	23,97	24,01	32,31	86,50	26,50
10/09/2017 01:00	20,22	22,30	31,68	87,90	26,80
10/09/2017 02:00	13,37	15,48	26,96	86,90	26,00
10/09/2017 03:00	8,08	11,48	22,41	84,40	25,70
10/09/2017 04:00	8,48	9,63	20,19	80,60	25,40
10/09/2017 05:00	7,53	9,58	20,51	86,30	25,20
10/09/2017 06:00	11,15	11,98	21,70	87,80	25,10
10/09/2017 07:00	10,56	13,84	22,38	88,10	25,40
10/09/2017 08:00	12,77	15,49	23,49	85,40	25,80
10/09/2017 09:00	13,88	17,78	26,36	81,80	26,50
10/09/2017 10:00	21,38	18,74	26,71	75,10	27,70
10/09/2017 11:00	12,82	15,76	23,20	70,50	29,70
10/09/2017 12:00	13,01	14,53	22,45	69,50	30,30
10/09/2017 13:00	18,90	13,21	22,67	66,00	31,80
10/09/2017 14:00	17,80	12,47	22,02	62,50	32,40
10/09/2017 15:00	14,70	13,93	22,42	72,10	30,80
10/09/2017 16:00	13,41	14,89	24,95	67,90	31,30
10/09/2017 17:00	15,62	15,14	24,20	64,20	31,20
10/09/2017 18:00	17,90	16,73	23,60	73,30	30,60
10/09/2017 19:00	14,47	19,01	26,21	83,40	29,40
10/09/2017 20:00	24,78	21,69	30,40	84,50	29,30
10/09/2017 21:00	22,95	22,45	29,03	85,20	28,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
10/09/2017 22:00	19,11	20,33	26,97	82,70	28,90
10/09/2017 23:00	15,74	18,78	26,20	84,10	28,40
11/09/2017 00:00	15,04	17,39	26,18	84,40	28,30
11/09/2017 01:00	19,48	17,88	25,43	84,70	28,20
11/09/2017 02:00	14,53	16,64	23,87	85,50	28,00
11/09/2017 03:00	15,20	14,30	21,16	86,20	27,90
11/09/2017 04:00	11,65	14,09	20,52	86,60	27,90
11/09/2017 05:00	12,78	15,67	20,41	83,30	26,40
11/09/2017 06:00	15,61	16,75	22,90	86,20	25,20
11/09/2017 07:00	19,47	18,69	27,14	85,60	25,10
11/09/2017 08:00	24,44	17,58	28,19	85,20	25,30
11/09/2017 09:00	14,64	15,37	26,89	80,80	25,80
11/09/2017 10:00	11,72	13,10	25,30	77,30	26,30
11/09/2017 11:00	13,45	13,03	25,25	73,90	27,50
11/09/2017 12:00	14,04	12,41	24,85	72,60	28,20
11/09/2017 13:00	12,43	13,51	23,39	70,00	28,60
11/09/2017 14:00	14,12	14,19	22,41	64,70	30,20
11/09/2017 15:00	13,96	15,93	23,51	62,30	30,30
11/09/2017 16:00	12,29	16,36	24,34	63,80	30,20
11/09/2017 17:00	15,21	17,24	24,86	62,60	30,80
11/09/2017 18:00	13,59	16,82	26,14	67,00	29,80
11/09/2017 19:00	14,15	16,62	26,56	70,70	29,30
11/09/2017 20:00	14,86	13,53	25,67	73,20	29,10
11/09/2017 21:00	14,32	13,18	24,25	75,90	28,70
11/09/2017 22:00	11,92	13,11	23,72	78,20	28,30
11/09/2017 23:00	12,97	12,95	22,84	78,90	28,30
12/09/2017 00:00	12,28	12,95	23,24	79,70	28,20
12/09/2017 01:00	11,19	11,86	21,27	81,70	27,80
12/09/2017 02:00	11,65	9,99	22,44	83,80	27,50
12/09/2017 03:00	12,28	10,72	23,42	84,40	27,20

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp °C
	µg/m ³				
12/09/2017 04:00	13,17	12,99	22,61	84,90	27,20
12/09/2017 05:00	15,36	15,24	23,90	86,20	27,00
12/09/2017 06:00	18,31	18,10	24,35	87,30	26,60
12/09/2017 07:00	22,82	18,33	25,85	82,60	27,30
12/09/2017 08:00	26,78	17,60	26,72	75,70	28,90
12/09/2017 09:00	14,70	18,04	27,22	73,70	29,30
12/09/2017 10:00	18,56	20,81	26,14	67,40	30,30
12/09/2017 11:00	21,17	21,11	25,95	61,40	31,90
12/09/2017 12:00	22,29	20,26	24,55	64,00	31,20
12/09/2017 13:00	14,35	19,81	25,29	60,10	32,20
12/09/2017 14:00	13,89	19,65	26,46	59,80	32,10
12/09/2017 15:00	17,69	19,38	27,78	64,60	31,70
12/09/2017 16:00	20,50	18,14	26,87	72,70	30,20
12/09/2017 17:00	17,29	17,20	25,84	73,30	29,80
12/09/2017 18:00	18,45	18,23	26,32	75,20	29,10
12/09/2017 19:00	23,35	22,78	29,82	76,20	28,80
12/09/2017 20:00	25,24	24,42	30,64	74,90	28,70
12/09/2017 21:00	27,26	24,02	33,14	77,40	28,20
12/09/2017 22:00	22,12	20,60	32,99	77,70	28,20
12/09/2017 23:00	20,20	19,70	24,16	77,90	28,10

Bảng PL.08: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2017 đến 23 giờ ngày 12/09/2017

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
06/09/2017 00:00	49,89	52,17	58,96	82,20	28,40
06/09/2017 01:00	56,99	56,62	64,09	85,90	27,80
06/09/2017 02:00	64,63	57,34	65,11	88,60	27,30
06/09/2017 03:00	42,36	52,79	60,22	89,60	27,10
06/09/2017 04:00	32,52	46,84	55,71	88,30	27,10
06/09/2017 05:00	21,39	44,40	50,93	87,90	27,30
06/09/2017 06:00	28,16	41,91	48,83	88,70	27,30
06/09/2017 07:00	38,51	40,96	50,53	88,10	27,60
06/09/2017 08:00	44,29	39,68	51,28	80,60	28,70
06/09/2017 09:00	27,10	38,49	48,72	74,70	30,00
06/09/2017 10:00	31,45	36,49	44,44	73,20	30,50
06/09/2017 11:00	25,52	34,33	43,22	68,60	31,20
06/09/2017 12:00	26,40	33,87	42,41	63,10	32,30
06/09/2017 13:00	32,59	34,44	44,63	65,00	32,50
06/09/2017 14:00	31,39	36,17	44,43	67,60	32,60
06/09/2017 15:00	35,60	38,27	46,66	64,00	32,50
06/09/2017 16:00	31,40	41,23	48,38	61,60	32,40
06/09/2017 17:00	33,43	42,95	53,51	69,10	31,80
06/09/2017 18:00	44,76	44,57	54,55	79,20	30,60
06/09/2017 19:00	42,01	44,01	52,01	78,80	30,20
06/09/2017 20:00	35,31	40,21	48,79	80,50	30,10
06/09/2017 21:00	31,97	39,11	48,86	79,70	30,00
06/09/2017 22:00	42,24	39,84	50,10	79,60	29,80
06/09/2017 23:00	36,08	39,94	51,23	79,20	29,90
07/09/2017 00:00	42,13	41,26	51,37	81,00	29,50
07/09/2017 01:00	44,80	40,79	49,43	82,90	29,20
07/09/2017 02:00	36,19	37,10	47,38	85,60	28,80
07/09/2017 03:00	35,48	34,33	46,34	88,50	28,40

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/09/2017 04:00	25,19	33,18	43,82	86,40	27,80
07/09/2017 05:00	24,87	34,74	42,98	88,00	27,50
07/09/2017 06:00	32,75	36,76	44,63	84,20	27,90
07/09/2017 07:00	36,75	39,30	47,37	79,10	26,80
07/09/2017 08:00	46,55	40,23	48,26	80,00	27,30
07/09/2017 09:00	32,15	39,14	48,87	79,80	27,90
07/09/2017 10:00	25,06	38,49	47,35	79,70	28,10
07/09/2017 11:00	34,72	38,06	43,98	73,10	29,20
07/09/2017 12:00	32,38	36,49	40,19	67,30	31,40
07/09/2017 13:00	22,58	32,60	39,50	64,20	32,10
07/09/2017 14:00	24,22	32,96	40,31	73,60	30,20
07/09/2017 15:00	30,05	33,39	41,35	76,50	28,80
07/09/2017 16:00	32,41	34,69	42,51	77,30	28,20
07/09/2017 17:00	36,68	35,90	43,09	77,10	27,70
07/09/2017 18:00	36,50	37,52	43,47	77,90	27,20
07/09/2017 19:00	45,95	39,26	42,89	78,10	26,80
07/09/2017 20:00	25,37	38,69	42,03	80,60	26,80
07/09/2017 21:00	28,87	36,07	40,51	78,20	26,80
07/09/2017 22:00	33,01	36,20	41,54	76,70	27,50
07/09/2017 23:00	39,03	37,64	42,63	78,50	27,10
08/09/2017 00:00	28,37	39,43	43,26	82,30	26,60
08/09/2017 01:00	47,70	37,50	45,12	83,60	26,30
08/09/2017 02:00	35,89	36,00	42,84	83,70	26,70
08/09/2017 03:00	25,84	35,46	41,77	87,30	26,10
08/09/2017 04:00	23,45	34,81	40,50	86,20	26,00
08/09/2017 05:00	24,22	35,11	41,41	88,50	25,70
08/09/2017 06:00	39,90	38,03	42,22	89,40	26,00
08/09/2017 07:00	35,54	39,06	40,87	85,70	26,60
08/09/2017 08:00	37,85	37,31	39,50	83,30	27,70
08/09/2017 09:00	32,44	35,95	39,49	79,50	28,70

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/09/2017 10:00	29,17	33,80	42,16	77,60	29,20
08/09/2017 11:00	34,60	33,68	44,51	75,80	30,00
08/09/2017 12:00	31,77	32,80	43,63	78,50	29,60
08/09/2017 13:00	31,61	33,98	44,70	84,50	27,80
08/09/2017 14:00	35,80	39,05	46,28	84,30	27,70
08/09/2017 15:00	39,79	40,69	47,90	86,10	28,00
08/09/2017 16:00	25,75	37,89	48,47	83,20	28,30
08/09/2017 17:00	28,45	36,07	48,98	81,40	28,60
08/09/2017 18:00	35,56	35,11	45,98	82,80	28,20
08/09/2017 19:00	31,81	34,44	43,76	85,90	27,80
08/09/2017 20:00	31,06	35,07	40,31	87,50	26,90
08/09/2017 21:00	33,09	37,07	40,53	90,70	26,60
08/09/2017 22:00	37,31	37,92	44,17	91,40	26,50
08/09/2017 23:00	41,71	39,77	44,26	92,30	26,60
09/09/2017 00:00	32,55	36,48	42,97	92,50	26,70
09/09/2017 01:00	27,19	27,47	39,42	92,70	27,00
09/09/2017 02:00	25,82	25,15	37,92	92,80	27,00
09/09/2017 03:00	24,14	25,04	36,59	92,30	27,10
09/09/2017 04:00	24,77	26,23	36,19	91,70	27,40
09/09/2017 05:00	22,86	26,01	34,35	92,60	27,30
09/09/2017 06:00	22,15	26,98	33,38	92,90	27,40
09/09/2017 07:00	26,89	24,89	33,51	92,50	27,70
09/09/2017 08:00	25,18	23,51	33,17	88,30	27,60
09/09/2017 09:00	15,47	20,39	30,61	86,70	27,50
09/09/2017 10:00	16,43	20,91	28,96	85,80	27,30
09/09/2017 11:00	20,34	24,20	29,28	87,00	27,30
09/09/2017 12:00	24,52	29,06	36,19	83,90	28,00
09/09/2017 13:00	44,14	37,02	45,77	83,40	28,90
09/09/2017 14:00	39,38	37,76	48,15	81,70	29,40
09/09/2017 15:00	27,88	37,85	48,47	81,50	29,40

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/09/2017 16:00	36,30	36,69	47,04	80,10	29,70
09/09/2017 17:00	25,38	34,88	43,95	83,60	28,70
09/09/2017 18:00	33,59	35,50	45,72	84,40	28,40
09/09/2017 19:00	36,89	40,24	48,28	86,90	28,00
09/09/2017 20:00	41,91	41,44	48,36	88,10	27,80
09/09/2017 21:00	34,86	38,53	46,09	88,00	27,50
09/09/2017 22:00	20,27	34,86	42,56	90,10	27,00
09/09/2017 23:00	26,98	30,79	40,87	93,60	26,00
10/09/2017 00:00	26,18	29,65	39,29	93,60	26,20
10/09/2017 01:00	25,09	27,39	34,01	93,20	26,20
10/09/2017 02:00	19,04	24,06	29,82	93,60	26,20
10/09/2017 03:00	18,31	24,69	27,47	91,70	25,40
10/09/2017 04:00	21,27	24,77	30,12	91,70	25,10
10/09/2017 05:00	22,36	27,24	39,97	91,80	24,80
10/09/2017 06:00	36,90	34,53	48,08	93,20	24,60
10/09/2017 07:00	38,21	36,73	50,51	93,60	24,90
10/09/2017 08:00	41,35	42,43	52,74	92,80	25,20
10/09/2017 09:00	47,86	46,35	56,83	90,80	25,70
10/09/2017 10:00	47,56	45,65	55,10	85,90	27,00
10/09/2017 11:00	31,70	43,90	53,25	80,20	28,50
10/09/2017 12:00	34,86	40,56	51,14	73,70	30,30
10/09/2017 13:00	26,87	38,69	48,72	69,00	31,70
10/09/2017 14:00	38,54	36,67	48,27	65,90	32,10
10/09/2017 15:00	34,51	34,50	45,56	73,00	31,60
10/09/2017 16:00	25,22	33,81	43,16	75,10	31,20
10/09/2017 17:00	37,54	34,86	40,41	75,20	31,10
10/09/2017 18:00	24,24	33,53	40,00	76,80	30,20
10/09/2017 19:00	26,79	33,33	39,01	85,70	29,20
10/09/2017 20:00	28,21	32,84	40,01	87,10	29,00
10/09/2017 21:00	32,18	30,55	38,47	85,90	29,00

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
10/09/2017 22:00	26,18	29,54	36,22	91,70	28,20
10/09/2017 23:00	21,36	27,50	34,19	91,30	27,40
11/09/2017 00:00	19,25	23,59	31,73	92,70	27,30
11/09/2017 01:00	14,63	25,45	30,83	91,40	27,40
11/09/2017 02:00	23,46	27,20	32,66	90,90	27,20
11/09/2017 03:00	26,66	28,10	39,48	91,50	27,10
11/09/2017 04:00	32,51	32,75	40,70	90,90	27,30
11/09/2017 05:00	33,00	34,28	41,24	86,50	26,10
11/09/2017 06:00	27,41	30,58	39,37	86,90	25,20
11/09/2017 07:00	25,92	30,30	36,89	87,70	25,20
11/09/2017 08:00	31,65	27,61	35,77	85,60	25,50
11/09/2017 09:00	25,11	24,52	34,39	81,80	26,00
11/09/2017 10:00	17,97	22,28	30,86	80,20	26,30
11/09/2017 11:00	20,67	21,78	30,28	79,40	27,20
11/09/2017 12:00	14,33	23,80	32,69	75,10	28,20
11/09/2017 13:00	26,51	27,65	38,41	72,40	28,90
11/09/2017 14:00	34,21	29,18	37,60	70,40	29,40
11/09/2017 15:00	20,75	26,78	35,06	68,60	29,90
11/09/2017 16:00	20,26	27,70	35,43	68,80	30,10
11/09/2017 17:00	29,80	30,06	36,59	69,30	30,10
11/09/2017 18:00	20,92	29,71	39,89	75,50	29,40
11/09/2017 19:00	25,80	32,03	44,54	76,70	28,80
11/09/2017 20:00	37,47	36,84	47,49	78,70	28,60
11/09/2017 21:00	45,43	37,25	46,12	81,20	28,20
11/09/2017 22:00	37,27	36,64	44,50	83,50	27,90
11/09/2017 23:00	33,03	37,43	43,37	85,70	27,60
12/09/2017 00:00	34,50	38,45	43,48	86,50	27,30
12/09/2017 01:00	33,21	36,45	43,54	88,20	27,00
12/09/2017 02:00	40,34	34,93	42,62	88,70	26,80
12/09/2017 03:00	24,57	32,64	41,19	88,80	26,80

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
12/09/2017 04:00	23,34	33,06	40,66	90,10	26,60
12/09/2017 05:00	21,74	34,25	39,84	90,80	26,40
12/09/2017 06:00	28,82	33,47	40,85	91,40	26,00
12/09/2017 07:00	30,92	33,36	43,25	90,70	26,50
12/09/2017 08:00	34,52	32,98	41,72	82,80	28,10
12/09/2017 09:00	23,82	31,27	39,51	73,40	30,30
12/09/2017 10:00	29,50	30,49	36,06	72,00	30,40
12/09/2017 11:00	34,89	29,46	36,11	69,20	31,10
12/09/2017 12:00	23,54	29,74	35,05	64,70	32,00
12/09/2017 13:00	29,20	30,14	34,40	59,40	33,00
12/09/2017 14:00	22,15	32,02	34,07	65,10	31,40
12/09/2017 15:00	23,47	33,94	36,36	69,70	31,50
12/09/2017 16:00	25,79	34,20	38,30	73,20	30,50
12/09/2017 17:00	25,60	35,16	41,25	76,70	29,70
12/09/2017 18:00	32,60	37,56	42,47	76,50	29,20
12/09/2017 19:00	34,17	37,19	42,73	75,90	28,80
12/09/2017 20:00	38,67	38,56	44,94	82,90	27,80
12/09/2017 21:00	28,87	40,70	46,77	81,70	27,70
12/09/2017 22:00	32,22	41,03	49,10	82,00	27,60
12/09/2017 23:00	43,70	42,75	52,21	80,70	27,80

Bảng PL.09: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
05/02/2019 00:00	36,88	49,33	57,88	80,90	21,60
05/02/2019 01:00	44,62	53,25	61,58	81,70	21,40
05/02/2019 02:00	42,96	52,51	59,02	81,90	21,20
05/02/2019 03:00	37,68	47,83	55,77	81,40	21,20
05/02/2019 04:00	22,63	45,58	53,58	79,40	21,50
05/02/2019 05:00	28,85	45,20	52,67	80,70	21,40
05/02/2019 06:00	33,83	43,53	51,67	81,50	21,40
05/02/2019 07:00	25,91	42,92	50,23	81,40	21,50
05/02/2019 08:00	30,64	41,08	47,83	80,10	21,80
05/02/2019 09:00	27,61	39,13	45,47	77,70	22,20
05/02/2019 10:00	32,24	40,58	44,54	72,60	23,10
05/02/2019 11:00	32,37	41,54	43,11	68,10	24,50
05/02/2019 12:00	30,62	41,75	43,88	61,80	25,70
05/02/2019 13:00	34,14	42,62	45,09	58,30	26,10
05/02/2019 14:00	33,47	41,26	46,21	51,60	27,40
05/02/2019 15:00	31,01	40,01	48,06	51,10	27,40
05/02/2019 16:00	31,50	39,08	46,96	50,10	27,40
05/02/2019 17:00	29,63	38,43	43,52	50,20	27,20
05/02/2019 18:00	27,98	36,86	41,45	62,00	25,90
05/02/2019 19:00	22,65	37,24	41,68	71,20	24,90
05/02/2019 20:00	31,32	38,85	42,22	72,10	24,50
05/02/2019 21:00	28,28	39,23	46,39	75,10	24,00
05/02/2019 22:00	32,01	36,40	47,58	78,70	23,40
05/02/2019 23:00	24,79	33,25	45,42	81,00	22,90
06/02/2019 00:00	21,95	32,76	41,74	81,50	22,80
06/02/2019 01:00	22,11	32,35	37,58	81,50	22,70
06/02/2019 02:00	23,96	33,44	37,03	81,90	22,50

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
06/02/2019 03:00	20,64	34,07	38,45	81,80	22,50
06/02/2019 04:00	26,19	35,07	39,14	81,90	22,40
06/02/2019 05:00	23,79	34,28	38,66	82,30	22,40
06/02/2019 06:00	17,98	33,99	38,37	80,70	22,60
06/02/2019 07:00	23,62	32,45	38,00	79,60	22,80
06/02/2019 08:00	22,15	32,97	39,13	77,70	23,00
06/02/2019 09:00	27,46	32,88	37,58	74,60	23,70
06/02/2019 10:00	19,95	31,43	35,42	68,50	25,00
06/02/2019 11:00	19,01	31,03	35,02	59,40	26,50
06/02/2019 12:00	22,05	31,91	34,12	59,70	26,60
06/02/2019 13:00	19,64	31,80	33,85	53,20	27,80
06/02/2019 14:00	24,31	33,13	34,94	52,20	28,10
06/02/2019 15:00	29,43	35,54	37,33	53,70	28,00
06/02/2019 16:00	27,94	37,11	39,02	53,30	27,90
06/02/2019 17:00	22,57	34,74	38,58	57,80	26,90
06/02/2019 18:00	22,14	33,56	39,41	60,20	26,10
06/02/2019 19:00	26,87	32,09	41,03	66,60	25,10
06/02/2019 20:00	23,29	31,58	40,20	71,60	24,50
06/02/2019 21:00	22,77	30,41	36,04	73,70	24,10
06/02/2019 22:00	22,30	30,55	35,40	73,90	23,90
06/02/2019 23:00	19,68	31,40	37,67	74,10	23,80
07/02/2019 00:00	18,67	34,03	40,59	75,70	23,50
07/02/2019 01:00	29,50	35,95	42,78	77,70	23,20
07/02/2019 02:00	21,70	32,75	38,72	78,70	22,90
07/02/2019 03:00	16,00	28,30	37,28	79,80	22,80
07/02/2019 04:00	18,28	27,64	35,93	82,30	22,30
07/02/2019 05:00	15,02	28,54	40,72	81,90	22,50
07/02/2019 06:00	21,79	34,42	44,43	80,40	22,70
07/02/2019 07:00	40,22	45,75	52,71	80,80	22,60
07/02/2019 08:00	35,38	44,51	53,67	79,20	22,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/02/2019 09:00	25,98	38,13	48,18	71,40	24,20
07/02/2019 10:00	28,42	36,41	46,49	67,70	24,50
07/02/2019 11:00	27,18	36,25	43,80	60,60	25,80
07/02/2019 12:00	29,03	37,86	45,60	53,90	27,70
07/02/2019 13:00	34,53	44,82	49,14	47,90	29,40
07/02/2019 14:00	37,12	48,99	53,59	43,50	30,10
07/02/2019 15:00	39,79	48,11	55,19	43,40	30,60
07/02/2019 16:00	34,97	42,54	51,81	51,00	30,00
07/02/2019 17:00	32,71	40,71	48,50	61,80	28,30
07/02/2019 18:00	34,18	43,72	49,81	68,90	26,30
07/02/2019 19:00	34,03	45,58	50,74	71,70	25,10
07/02/2019 20:00	33,23	45,34	50,36	74,80	24,50
07/02/2019 21:00	35,64	43,50	49,47	74,80	24,30
07/02/2019 22:00	28,51	41,52	48,89	74,60	24,00
07/02/2019 23:00	35,70	38,21	44,98	75,10	23,90
08/02/2019 00:00	25,25	36,51	42,58	76,90	23,40
08/02/2019 01:00	25,00	38,36	42,97	78,00	23,40
08/02/2019 02:00	37,75	41,55	44,96	78,80	23,50
08/02/2019 03:00	32,39	42,39	46,64	78,40	23,40
08/02/2019 04:00	27,89	43,29	47,20	77,00	23,10
08/02/2019 05:00	31,97	43,04	48,11	76,20	23,00
08/02/2019 06:00	28,65	41,20	49,01	75,80	22,90
08/02/2019 07:00	30,84	39,32	48,82	78,60	22,70
08/02/2019 08:00	31,83	39,55	47,86	75,00	23,30
08/02/2019 09:00	37,12	42,92	47,13	71,20	23,90
08/02/2019 10:00	36,74	45,01	49,48	64,70	25,70
08/02/2019 11:00	38,74	48,23	52,40	60,30	26,60
08/02/2019 12:00	41,70	49,32	56,42	53,20	28,10
08/02/2019 13:00	42,39	52,22	57,80	46,80	29,30
08/02/2019 14:00	45,03	51,87	55,57	44,40	29,80

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/02/2019 15:00	38,78	46,52	51,20	40,30	30,80
08/02/2019 16:00	28,29	44,86	49,97	39,00	31,20
08/02/2019 17:00	37,06	45,05	49,40	53,90	29,50
08/02/2019 18:00	36,92	47,95	51,03	59,90	28,00
08/02/2019 19:00	38,95	50,39	54,62	63,30	26,60
08/02/2019 20:00	40,07	50,13	55,78	72,20	25,00
08/02/2019 21:00	34,34	47,48	53,31	76,20	23,80
08/02/2019 22:00	32,60	45,85	50,20	76,80	23,10
08/02/2019 23:00	43,68	42,60	48,02	77,70	22,90
09/02/2019 00:00	31,97	40,78	46,14	79,10	22,30
09/02/2019 01:00	33,80	42,02	46,07	79,30	22,60
09/02/2019 02:00	52,98	44,24	49,17	79,10	22,60
09/02/2019 03:00	35,39	43,22	51,00	78,70	22,50
09/02/2019 04:00	32,09	42,03	53,38	77,70	22,70
09/02/2019 05:00	45,23	45,95	55,37	77,20	22,80
09/02/2019 06:00	41,65	50,28	56,63	76,50	22,80
09/02/2019 07:00	47,26	51,54	58,87	75,10	22,90
09/02/2019 08:00	42,90	53,04	58,30	69,10	23,40
09/02/2019 09:00	43,50	51,42	57,62	67,20	24,10
09/02/2019 10:00	37,51	48,50	56,16	65,40	24,70
09/02/2019 11:00	38,16	49,77	58,02	59,20	26,10
09/02/2019 12:00	49,50	56,87	62,34	56,60	26,80
09/02/2019 13:00	53,08	62,52	66,08	53,00	28,00
09/02/2019 14:00	55,70	63,57	66,15	52,50	28,30
09/02/2019 15:00	44,21	58,87	63,45	50,60	28,90
09/02/2019 16:00	40,56	54,05	60,74	51,50	29,10
09/02/2019 17:00	41,97	50,70	58,75	56,80	28,00
09/02/2019 18:00	39,12	47,31	54,89	65,00	26,30
09/02/2019 19:00	37,55	45,46	51,30	69,90	25,30
09/02/2019 20:00	40,32	42,97	50,75	71,60	24,70

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/02/2019 21:00	28,53	41,35	48,58	73,40	24,40
09/02/2019 22:00	35,20	40,47	46,09	74,20	24,20
09/02/2019 23:00	27,46	38,82	45,81	75,10	24,00
10/02/2019 00:00	24,34	37,81	44,82	76,60	23,80
10/02/2019 01:00	33,23	35,47	42,44	77,70	23,70
10/02/2019 02:00	23,97	32,97	40,13	78,70	23,70
10/02/2019 03:00	17,41	31,31	38,25	78,90	23,70
10/02/2019 04:00	21,00	30,83	37,18	79,40	23,60
10/02/2019 05:00	19,93	30,56	37,33	78,70	23,80
10/02/2019 06:00	23,96	32,92	38,76	80,70	23,40
10/02/2019 07:00	34,99	36,95	43,51	81,40	23,60
10/02/2019 08:00	24,80	36,36	41,55	79,50	24,00
10/02/2019 09:00	24,33	33,75	38,70	76,50	24,50
10/02/2019 10:00	17,65	29,85	37,18	71,30	25,20
10/02/2019 11:00	18,75	30,22	38,95	69,60	25,40
10/02/2019 12:00	27,23	35,36	45,18	63,60	26,40
10/02/2019 13:00	40,86	42,11	49,79	62,10	26,80
10/02/2019 14:00	32,72	43,91	50,50	59,60	27,10
10/02/2019 15:00	35,94	43,65	50,15	59,70	27,10
10/02/2019 16:00	32,02	41,19	47,64	63,00	26,60
10/02/2019 17:00	28,62	40,92	46,49	65,00	26,10
10/02/2019 18:00	30,93	42,74	48,93	69,50	25,40
10/02/2019 19:00	39,73	44,04	50,74	73,00	24,70
10/02/2019 20:00	34,69	44,93	48,33	74,20	24,30
10/02/2019 21:00	29,95	45,63	48,31	75,40	24,00
10/02/2019 22:00	40,99	43,95	47,41	76,40	23,80
10/02/2019 23:00	29,05	42,23	47,48	76,50	23,60
11/02/2019 00:00	32,70	43,17	48,67	77,10	23,40
11/02/2019 01:00	39,05	46,34	52,54	76,70	23,00
11/02/2019 02:00	38,22	45,85	53,74	77,50	22,80

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
11/02/2019 03:00	37,26	45,03	51,86	78,20	22,80
11/02/2019 04:00	33,91	44,18	50,35	80,60	22,60
11/02/2019 05:00	33,65	42,53	49,67	80,30	22,60
11/02/2019 06:00	35,51	44,34	52,96	79,10	22,60
11/02/2019 07:00	45,68	50,97	56,75	78,90	22,50
11/02/2019 08:00	42,65	52,72	57,79	77,50	22,50
11/02/2019 09:00	43,22	50,99	56,98	78,30	22,40
11/02/2019 10:00	40,99	49,37	58,00	77,60	22,50
11/02/2019 11:00	42,76	52,04	61,21	77,30	22,50
11/02/2019 12:00	52,35	63,73	67,82	79,10	22,30
11/02/2019 13:00	61,49	67,69	72,17	77,00	21,10
11/02/2019 14:00	57,27	66,83	72,46	81,50	19,70
11/02/2019 15:00	52,25	63,71	70,83	82,90	18,90
11/02/2019 16:00	52,52	62,37	68,98	83,00	18,50
11/02/2019 17:00	58,91	61,29	67,91	82,10	18,80
11/02/2019 18:00	51,58	61,58	68,27	81,90	19,00
11/02/2019 19:00	53,15	62,69	68,34	83,10	17,70
11/02/2019 20:00	53,79	64,65	69,61	82,10	17,70
11/02/2019 21:00	53,71	67,99	71,19	79,80	18,20
11/02/2019 22:00	59,83	70,75	75,23	81,00	17,80
11/02/2019 23:00	64,95	72,88	80,64	81,90	17,90

Bảng PL.10: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 05/02/2019 đến 23 giờ ngày 11/02/2019

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
05/02/2019 00:00	40,46	49,71	57,64	81,60	21,60
05/02/2019 01:00	27,71	42,70	53,69	81,90	21,50
05/02/2019 02:00	30,12	41,02	54,32	83,70	21,10
05/02/2019 03:00	35,69	42,68	59,09	84,50	20,90
05/02/2019 04:00	41,28	49,51	61,28	84,10	20,90
05/02/2019 05:00	45,38	51,64	62,37	84,90	20,70
05/02/2019 06:00	38,52	47,70	60,20	83,60	21,30
05/02/2019 07:00	37,64	45,80	58,31	83,20	21,50
05/02/2019 08:00	39,92	46,71	56,33	81,70	21,90
05/02/2019 09:00	38,75	48,04	55,42	77,70	22,70
05/02/2019 10:00	38,17	48,27	57,74	74,00	23,40
05/02/2019 11:00	42,11	49,05	60,28	63,50	25,70
05/02/2019 12:00	38,44	45,05	57,49	63,00	25,80
05/02/2019 13:00	24,61	43,22	54,87	56,20	26,70
05/02/2019 14:00	28,12	41,81	51,69	53,90	27,30
05/02/2019 15:00	36,06	40,03	54,07	49,60	28,10
05/02/2019 16:00	30,54	39,11	54,72	50,00	28,30
05/02/2019 17:00	30,54	37,99	50,92	52,50	27,50
05/02/2019 18:00	31,25	39,19	51,39	56,10	26,20
05/02/2019 19:00	31,25	40,25	54,04	70,40	25,00
05/02/2019 20:00	35,93	43,25	52,80	73,60	24,60
05/02/2019 21:00	35,93	44,96	51,63	74,30	24,30
05/02/2019 22:00	27,70	42,22	50,86	76,30	23,60
05/02/2019 23:00	27,70	36,63	49,52	81,00	23,00
06/02/2019 00:00	25,12	33,60	45,30	81,50	23,00
06/02/2019 01:00	25,12	33,08	44,39	82,20	22,80
06/02/2019 02:00	23,67	32,55	46,94	83,80	22,40
06/02/2019 03:00	23,67	34,05	45,22	83,70	22,60

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
06/02/2019 04:00	25,84	35,23	44,04	84,40	22,30
06/02/2019 05:00	25,84	34,23	43,69	84,70	22,20
06/02/2019 06:00	20,49	31,30	43,32	83,60	22,50
06/02/2019 07:00	20,49	27,25	42,40	83,90	22,40
06/02/2019 08:00	17,71	26,29	40,31	78,20	23,60
06/02/2019 09:00	17,71	28,85	39,61	76,40	24,00
06/02/2019 10:00	23,62	33,65	40,12	64,90	26,50
06/02/2019 11:00	23,62	34,31	41,24	58,80	27,50
06/02/2019 12:00	23,90	33,92	42,41	58,50	27,70
06/02/2019 13:00	23,90	33,34	43,86	52,80	28,80
06/02/2019 14:00	23,46	33,06	44,39	50,70	29,10
06/02/2019 15:00	21,96	31,15	45,42	51,00	29,30
06/02/2019 16:00	20,89	29,23	44,44	53,30	28,50
06/02/2019 17:00	20,89	27,09	39,84	81,00	22,70
06/02/2019 18:00	17,90	26,06	38,45	83,50	22,10
06/02/2019 19:00	17,90	28,00	41,51	85,10	21,90
06/02/2019 20:00	24,00	32,54	44,57	86,20	21,80
06/02/2019 21:00	24,00	30,17	45,31	83,70	22,50
06/02/2019 22:00	19,57	28,01	41,31	74,50	23,90
06/02/2019 23:00	19,57	29,06	43,63	76,50	23,60
07/02/2019 00:00	19,81	28,72	39,66	78,70	23,20
07/02/2019 01:00	19,81	27,47	36,22	79,10	23,10
07/02/2019 02:00	17,17	24,78	38,81	81,00	22,70
07/02/2019 03:00	17,17	26,62	40,95	83,50	22,10
07/02/2019 04:00	20,51	30,04	42,77	85,10	21,90
07/02/2019 05:00	20,51	28,73	38,94	86,20	21,80
07/02/2019 06:00	15,67	24,30	35,99	83,70	22,50
07/02/2019 07:00	15,67	24,67	34,29	82,20	22,70
07/02/2019 08:00	20,23	28,72	37,37	80,60	23,10
07/02/2019 09:00	20,23	29,59	41,91	80,40	23,00

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/02/2019 10:00	24,43	32,50	46,02	72,30	24,30
07/02/2019 11:00	24,43	32,92	48,79	63,60	25,90
07/02/2019 12:00	25,40	33,83	47,65	54,70	28,20
07/02/2019 13:00	25,40	34,58	47,02	50,60	29,90
07/02/2019 14:00	25,64	34,37	46,15	43,70	31,20
07/02/2019 15:00	25,64	35,26	46,12	41,70	31,70
07/02/2019 16:00	29,41	38,98	47,82	43,60	31,40
07/02/2019 17:00	29,41	39,37	51,22	54,90	29,50
07/02/2019 18:00	33,92	41,56	54,81	68,90	26,90
07/02/2019 19:00	33,92	43,63	52,39	72,00	25,50
07/02/2019 20:00	34,31	42,93	51,31	76,30	24,60
07/02/2019 21:00	34,31	42,61	51,69	77,90	24,30
07/02/2019 22:00	34,05	41,60	56,34	76,60	24,30
07/02/2019 23:00	34,05	42,56	55,88	77,90	23,90
08/02/2019 00:00	31,01	40,56	52,95	80,00	23,20
08/02/2019 01:00	31,01	37,53	49,10	79,30	22,60
08/02/2019 02:00	28,42	35,66	47,67	80,00	23,10
08/02/2019 03:00	28,42	37,40	46,82	71,20	24,70
08/02/2019 04:00	28,89	37,13	45,77	64,50	26,20
08/02/2019 05:00	28,89	35,67	45,22	79,80	22,70
08/02/2019 06:00	23,86	33,40	44,74	79,40	22,40
08/02/2019 07:00	23,86	34,23	46,15	79,30	22,60
08/02/2019 08:00	30,96	37,49	49,02	80,00	23,10
08/02/2019 09:00	30,96	40,33	51,19	71,20	24,70
08/02/2019 10:00	31,66	40,11	49,33	64,50	26,20
08/02/2019 11:00	31,66	40,80	50,04	58,30	27,70
08/02/2019 12:00	36,28	43,30	52,72	49,00	29,20
08/02/2019 13:00	36,28	44,44	54,06	41,90	31,10
08/02/2019 14:00	37,20	46,16	55,96	43,40	31,10
08/02/2019 15:00	37,20	45,23	54,24	41,00	31,60

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/02/2019 16:00	31,68	42,05	51,49	36,10	32,10
08/02/2019 17:00	31,68	43,05	53,16	50,10	30,40
08/02/2019 18:00	37,29	46,09	53,41	59,50	28,50
08/02/2019 19:00	37,29	46,64	54,34	64,60	27,00
08/02/2019 20:00	38,72	45,11	56,80	70,40	25,50
08/02/2019 21:00	38,72	46,40	60,05	76,10	24,40
08/02/2019 22:00	38,80	48,55	59,90	78,80	23,20
08/02/2019 23:00	38,80	46,06	57,60	80,30	23,00
09/02/2019 00:00	32,23	42,11	55,32	79,10	22,90
09/02/2019 01:00	32,23	41,79	53,78	80,00	22,80
09/02/2019 02:00	36,19	44,13	55,57	79,60	23,10
09/02/2019 03:00	36,19	42,88	55,63	78,40	22,90
09/02/2019 04:00	27,67	39,51	52,96	77,30	22,80
09/02/2019 05:00	27,67	37,49	49,51	78,50	22,80
09/02/2019 06:00	26,92	34,27	46,93	50,10	30,40
09/02/2019 07:00	26,92	34,96	47,55	59,50	28,50
09/02/2019 08:00	34,19	41,27	51,77	64,60	27,00
09/02/2019 09:00	34,19	43,06	53,46	66,00	24,70
09/02/2019 10:00	37,54	45,54	57,70	63,90	25,60
09/02/2019 11:00	37,54	47,00	58,52	59,10	26,70
09/02/2019 12:00	40,84	50,10	59,20	53,70	28,20
09/02/2019 13:00	40,84	50,48	59,39	50,90	28,80
09/02/2019 14:00	42,61	51,15	62,27	50,10	29,50
09/02/2019 15:00	33,32	52,92	64,84	49,60	29,90
09/02/2019 16:00	44,77	55,84	67,61	50,80	29,60
09/02/2019 17:00	34,85	58,50	68,72	55,70	28,80
09/02/2019 18:00	40,64	58,00	69,66	64,40	26,90
09/02/2019 19:00	42,91	57,55	67,10	69,20	26,00
09/02/2019 20:00	45,35	55,17	66,54	71,50	25,10
09/02/2019 21:00	38,60	48,91	60,84	74,20	24,60

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/02/2019 22:00	35,72	43,91	56,01	74,60	24,60
09/02/2019 23:00	26,63	39,50	52,23	75,00	24,50
10/02/2019 00:00	22,44	37,55	49,07	76,90	24,10
10/02/2019 01:00	28,38	35,20	47,98	77,50	24,10
10/02/2019 02:00	27,11	33,12	45,15	78,40	24,00
10/02/2019 03:00	18,10	31,08	40,11	78,50	24,10
10/02/2019 04:00	20,16	29,82	38,32	79,30	24,00
10/02/2019 05:00	44,06	30,54	38,58	79,80	23,90
10/02/2019 06:00	22,90	34,41	39,96	79,40	24,00
10/02/2019 07:00	22,88	38,31	44,63	80,30	24,00
10/02/2019 08:00	25,88	41,54	48,32	79,40	24,30
10/02/2019 09:00	24,01	38,71	50,98	75,00	25,50
10/02/2019 10:00	28,03	35,32	50,42	72,50	25,60
10/02/2019 11:00	28,48	36,09	52,29	64,90	27,30
10/02/2019 12:00	35,73	39,30	52,92	62,60	27,60
10/02/2019 13:00	26,51	40,46	53,89	55,80	28,70
10/02/2019 14:00	45,70	42,82	55,21	56,40	28,60
10/02/2019 15:00	28,21	41,86	54,26	59,30	28,10
10/02/2019 16:00	32,04	40,26	54,09	61,40	27,60
10/02/2019 17:00	32,04	41,50	51,94	65,30	26,60
10/02/2019 18:00	32,19	40,25	49,88	68,40	26,00
10/02/2019 19:00	32,19	39,37	49,07	73,70	25,00
10/02/2019 20:00	31,46	38,55	48,24	75,60	24,50
10/02/2019 21:00	31,46	38,33	49,59	76,60	24,10
10/02/2019 22:00	28,94	37,41	51,62	77,30	24,10
10/02/2019 23:00	28,94	38,13	52,47	77,30	23,90
11/02/2019 00:00	31,90	41,22	52,85	78,10	23,70
11/02/2019 01:00	31,90	39,04	53,66	78,90	23,50
11/02/2019 02:00	28,44	37,03	52,18	78,10	23,30
11/02/2019 03:00	28,44	35,02	48,32	77,40	23,20

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
11/02/2019 04:00	30,81	37,27	47,52	85,50	22,40
11/02/2019 05:00	30,81	40,35	48,24	85,20	22,30
11/02/2019 06:00	33,77	42,28	51,77	83,40	22,50
11/02/2019 07:00	33,77	45,19	55,96	83,70	22,50
11/02/2019 08:00	40,00	49,01	58,26	82,00	22,70
11/02/2019 09:00	40,00	48,25	60,23	80,10	22,80
11/02/2019 10:00	40,98	47,12	62,66	78,10	23,10
11/02/2019 11:00	40,98	49,32	63,43	78,30	23,10
11/02/2019 12:00	44,02	51,80	63,93	79,40	22,70
11/02/2019 13:00	44,02	51,63	62,86	81,00	20,50
11/02/2019 14:00	46,12	54,85	63,70	85,30	19,30
11/02/2019 15:00	47,48	57,07	67,64	86,60	18,60
11/02/2019 16:00	56,37	62,14	70,40	86,90	18,30
11/02/2019 17:00	41,45	65,46	75,44	85,80	18,30
11/02/2019 18:00	50,90	70,43	87,72	85,30	18,30
11/02/2019 19:00	88,62	76,14	91,52	85,90	17,30
11/02/2019 20:00	83,22	79,21	90,59	86,30	17,30
11/02/2019 21:00	67,76	78,13	88,03	84,50	17,50
11/02/2019 22:00	66,60	76,03	85,83	85,40	17,20
11/02/2019 23:00	58,17	71,35	80,73	86,60	17,20

Bảng PL.11: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Trung Yên (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
06/09/2019 00:00	68,47	75,74	87,34	70,50	29,30
06/09/2019 01:00	58,27	71,09	80,86	70,90	29,10
06/09/2019 02:00	52,66	65,40	76,92	72,50	28,70
06/09/2019 03:00	49,20	63,27	75,32	72,50	28,70
06/09/2019 04:00	56,20	65,00	73,64	74,90	28,70
06/09/2019 05:00	61,56	70,71	77,20	77,60	28,10
06/09/2019 06:00	66,36	78,27	85,24	78,30	27,90
06/09/2019 07:00	98,73	90,87	100,60	75,40	28,30
06/09/2019 08:00	92,93	91,85	100,51	68,70	29,50
06/09/2019 09:00	79,80	90,25	96,88	62,00	31,20
06/09/2019 10:00	76,19	84,25	92,18	53,30	32,60
06/09/2019 11:00	50,32	73,38	83,85	45,60	34,20
06/09/2019 12:00	48,63	65,40	74,63	39,20	35,50
06/09/2019 13:00	49,86	58,96	70,58	41,40	34,90
06/09/2019 14:00	46,99	56,70	66,90	41,10	35,40
06/09/2019 15:00	39,06	54,68	65,67	43,00	35,20
06/09/2019 16:00	42,52	55,42	63,20	41,10	35,90
06/09/2019 17:00	49,41	57,79	60,90	44,30	35,10
06/09/2019 18:00	44,21	56,97	61,42	48,70	33,80
06/09/2019 19:00	39,57	55,93	64,69	49,80	33,50
06/09/2019 20:00	47,00	57,17	66,52	56,20	32,60
06/09/2019 21:00	57,72	62,47	70,38	64,40	31,50
06/09/2019 22:00	54,75	63,93	72,32	66,00	30,90
06/09/2019 23:00	53,23	65,53	71,21	62,60	30,80
07/09/2019 00:00	45,99	64,71	69,49	61,10	30,40
07/09/2019 01:00	50,89	62,47	66,65	62,00	30,10
07/09/2019 02:00	38,43	55,67	62,19	61,90	29,90
07/09/2019 03:00	36,88	49,87	58,21	62,20	29,70

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/09/2019 04:00	34,90	48,38	56,24	61,80	29,80
07/09/2019 05:00	36,58	49,12	53,65	62,60	29,90
07/09/2019 06:00	38,43	52,09	55,44	63,70	29,60
07/09/2019 07:00	43,85	55,39	61,31	65,80	29,40
07/09/2019 08:00	46,60	58,08	64,77	59,20	31,50
07/09/2019 09:00	40,74	57,32	62,18	54,40	32,60
07/09/2019 10:00	38,86	52,24	58,12	50,30	33,40
07/09/2019 11:00	35,23	47,87	55,83	48,90	34,50
07/09/2019 12:00	34,77	44,00	52,12	43,60	35,60
07/09/2019 13:00	32,91	41,69	50,06	43,50	35,90
07/09/2019 14:00	30,71	40,66	48,51	43,90	36,00
07/09/2019 15:00	27,28	39,46	47,55	45,20	35,20
07/09/2019 16:00	27,82	40,84	46,38	52,30	34,40
07/09/2019 17:00	32,30	44,08	48,72	48,50	34,30
07/09/2019 18:00	32,82	44,13	50,28	52,10	33,20
07/09/2019 19:00	29,81	42,75	50,95	59,40	32,10
07/09/2019 20:00	34,21	45,20	52,70	63,00	31,50
07/09/2019 21:00	31,39	44,58	54,26	68,10	30,70
07/09/2019 22:00	40,12	46,48	55,32	70,30	30,20
07/09/2019 23:00	36,78	48,77	55,92	73,10	30,00
08/09/2019 00:00	46,43	50,62	57,90	76,00	29,60
08/09/2019 01:00	43,49	53,27	58,52	78,10	29,10
08/09/2019 02:00	44,62	53,17	59,00	78,80	29,00
08/09/2019 03:00	37,56	48,94	56,70	77,80	29,10
08/09/2019 04:00	36,36	46,78	53,32	79,80	28,80
08/09/2019 05:00	31,59	42,72	51,77	80,90	28,60
08/09/2019 06:00	32,94	43,88	50,92	80,60	28,70
08/09/2019 07:00	41,36	51,86	58,58	80,10	28,80
08/09/2019 08:00	40,64	53,74	61,63	74,90	29,70
08/09/2019 09:00	41,56	51,83	57,86	67,30	31,10

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/09/2019 10:00	32,52	45,55	55,26	62,10	32,30
08/09/2019 11:00	34,53	44,71	53,41	54,10	34,40
08/09/2019 12:00	31,04	42,36	52,92	54,00	34,20
08/09/2019 13:00	34,78	43,15	53,48	51,40	34,80
08/09/2019 14:00	33,99	45,88	53,84	54,70	34,20
08/09/2019 15:00	36,96	46,02	53,82	48,90	35,80
08/09/2019 16:00	28,30	42,87	51,88	56,60	34,20
08/09/2019 17:00	20,01	38,61	49,78	79,10	27,40
08/09/2019 18:00	24,80	39,81	48,92	76,60	29,50
08/09/2019 19:00	32,00	42,68	47,53	77,40	30,30
08/09/2019 20:00	29,37	39,63	46,78	64,60	29,70
08/09/2019 21:00	24,56	36,35	44,72	67,30	28,90
08/09/2019 22:00	15,35	32,85	41,24	66,00	28,80
08/09/2019 23:00	15,60	32,13	42,50	71,10	28,80
09/09/2019 00:00	25,32	34,34	43,88	74,60	28,80
09/09/2019 01:00	27,01	39,35	45,83	76,00	28,90
09/09/2019 02:00	28,18	40,29	46,62	76,90	29,10
09/09/2019 03:00	23,49	34,33	43,39	76,90	29,30
09/09/2019 04:00	17,42	29,74	39,98	77,80	29,10
09/09/2019 05:00	17,56	27,96	36,25	78,90	28,90
09/09/2019 06:00	15,56	25,99	37,11	79,20	29,00
09/09/2019 07:00	22,22	31,03	38,20	80,40	29,20
09/09/2019 08:00	29,63	36,56	41,78	79,30	29,70
09/09/2019 09:00	25,96	37,35	43,73	75,50	30,50
09/09/2019 10:00	21,75	38,31	46,24	66,60	32,40
09/09/2019 11:00	29,95	39,93	48,08	61,60	33,40
09/09/2019 12:00	32,84	39,31	46,36	59,70	33,80
09/09/2019 13:00	26,88	35,19	43,93	47,70	35,90
09/09/2019 14:00	21,11	30,75	41,83	48,40	35,70
09/09/2019 15:00	19,84	31,34	42,57	52,60	34,40

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/09/2019 16:00	26,25	38,22	45,99	57,10	33,80
09/09/2019 17:00	32,14	41,04	48,89	66,10	32,20
09/09/2019 18:00	35,37	43,68	50,96	76,90	28,80
09/09/2019 19:00	36,93	46,52	52,77	76,90	29,70
09/09/2019 20:00	36,27	48,70	54,20	77,30	28,80
09/09/2019 21:00	43,33	49,91	55,82	76,60	28,50
09/09/2019 22:00	35,36	47,94	54,12	74,60	28,60
09/09/2019 23:00	34,52	44,73	51,19	78,20	29,00
10/09/2019 00:00	30,54	41,59	49,97	80,40	29,20
10/09/2019 01:00	29,26	37,69	48,21	80,90	29,20
10/09/2019 02:00	27,28	39,42	47,75	80,90	29,20
10/09/2019 03:00	33,69	43,84	49,30	82,30	29,00
10/09/2019 04:00	36,02	46,26	51,22	82,50	29,10
10/09/2019 05:00	32,52	43,88	50,13	83,80	29,00
10/09/2019 06:00	30,04	38,31	46,12	82,30	28,70
10/09/2019 07:00	21,78	33,83	40,69	83,00	26,20
10/09/2019 08:00	17,00	27,05	34,97	82,30	26,10
10/09/2019 09:00	12,29	22,62	31,80	82,90	25,80
10/09/2019 10:00	9,71	22,44	30,36	82,80	25,90
10/09/2019 11:00	13,99	24,44	31,67	82,30	25,80
10/09/2019 12:00	12,24	25,24	32,22	81,50	25,70
10/09/2019 13:00	15,49	26,32	33,60	78,80	26,10
10/09/2019 14:00	18,47	27,38	35,62	80,80	25,80
10/09/2019 15:00	22,47	28,21	35,76	78,70	26,50
10/09/2019 16:00	18,02	29,80	36,28	78,40	26,50
10/09/2019 17:00	20,69	30,70	36,52	77,20	26,70
10/09/2019 18:00	18,74	29,29	37,09	77,10	26,70
10/09/2019 19:00	17,34	29,48	38,26	76,80	26,70
10/09/2019 20:00	20,78	31,59	39,03	76,40	26,80
10/09/2019 21:00	23,38	32,68	41,34	77,20	26,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
10/09/2019 22:00	23,84	33,69	40,57	78,90	26,60
10/09/2019 23:00	22,28	31,70	41,61	79,80	26,60
11/09/2019 00:00	21,75	32,12	42,60	79,40	26,70
11/09/2019 01:00	25,08	34,02	44,25	79,50	26,40
11/09/2019 02:00	26,53	37,86	46,88	79,30	26,20
11/09/2019 03:00	29,22	44,05	52,59	79,40	26,10
11/09/2019 04:00	54,43	56,05	61,78	80,30	26,10
11/09/2019 05:00	51,33	57,11	64,46	80,20	26,00
11/09/2019 06:00	46,39	55,11	60,97	84,00	25,70
11/09/2019 07:00	36,28	46,95	56,07	80,70	26,60
11/09/2019 08:00	32,79	42,81	53,45	80,00	26,80
11/09/2019 09:00	33,21	40,17	49,30	73,20	28,60
11/09/2019 10:00	29,64	38,57	46,14	69,80	30,00
11/09/2019 11:00	30,09	39,28	46,41	67,30	30,30
11/09/2019 12:00	35,72	42,78	50,14	64,00	31,00
11/09/2019 13:00	29,95	40,83	48,34	80,10	27,10
11/09/2019 14:00	21,33	35,86	44,67	60,90	31,20
11/09/2019 15:00	19,36	31,43	41,16	64,50	30,80
11/09/2019 16:00	21,71	29,95	39,16	60,80	30,80
11/09/2019 17:00	15,96	30,93	40,64	69,60	29,00
11/09/2019 18:00	25,87	36,61	42,20	74,60	28,10
11/09/2019 19:00	32,14	40,81	45,90	77,00	27,60
11/09/2019 20:00	28,91	40,52	46,44	76,10	27,60
11/09/2019 21:00	27,95	37,48	46,05	76,30	27,20
11/09/2019 22:00	25,91	34,32	42,91	77,20	27,00
11/09/2019 23:00	23,68	32,36	41,16	77,40	27,10
12/09/2019 00:00	20,17	33,19	40,82	77,90	26,90
12/09/2019 01:00	23,99	36,00	42,27	78,20	26,80
12/09/2019 02:00	25,27	37,20	45,54	77,10	26,70
12/09/2019 03:00	34,41	39,02	48,63	78,20	26,70

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
12/09/2019 04:00	31,02	41,72	52,33	81,20	26,40
12/09/2019 05:00	35,71	47,30	57,51	82,90	26,30
12/09/2019 06:00	48,16	54,72	62,66	83,70	26,40
12/09/2019 07:00	50,07	60,61	67,85	81,80	26,70
12/09/2019 08:00	61,42	65,42	72,00	74,80	28,10
12/09/2019 09:00	58,44	66,44	72,47	68,20	29,30
12/09/2019 10:00	51,38	63,91	69,17	61,00	30,80
12/09/2019 11:00	43,22	55,37	65,77	57,60	31,70
12/09/2019 12:00	38,66	48,06	61,82	62,20	30,90
12/09/2019 13:00	37,97	45,02	57,50	54,10	32,20
12/09/2019 14:00	34,18	43,98	53,29	51,10	33,00
12/09/2019 15:00	29,47	43,02	51,39	46,80	34,20
12/09/2019 16:00	31,24	42,39	51,19	46,50	34,20
12/09/2019 17:00	32,14	44,78	53,70	50,60	33,00
12/09/2019 18:00	30,17	50,67	58,67	59,60	31,80
12/09/2019 19:00	54,02	59,22	65,63	66,20	30,20
12/09/2019 20:00	48,07	58,71	63,67	69,60	29,70
12/09/2019 21:00	34,01	54,98	60,24	71,20	29,20
12/09/2019 22:00	35,73	50,10	56,19	71,90	29,00
12/09/2019 23:00	33,03	43,24	51,61	74,30	28,70

Bảng PL.12: Số liệu nồng độ PM_{2.5} tại trạm Minh Khai (QT), trước (BF) và sau đồng hóa (AF) từ 00 giờ ngày 06/09/2019 đến 23 giờ ngày 12/09/2019

Time	PM _{2.5} _QT	PM _{2.5} _AF	PM _{2.5} _BF	RH (%)	Temp (°C)
	µg/m ³				
06/09/2019 00:00	64,15	74,36	92,70	75,20	29,30
06/09/2019 01:00	78,00	84,40	90,02	76,70	28,70
06/09/2019 02:00	75,58	83,72	95,79	76,40	28,70
06/09/2019 03:00	62,21	82,49	97,12	79,60	28,10
06/09/2019 04:00	80,84	85,82	105,04	82,70	27,50
06/09/2019 05:00	74,84	95,74	113,86	82,90	27,30
06/09/2019 06:00	99,36	107,56	117,05	83,50	27,20
06/09/2019 07:00	106,73	110,75	115,25	81,80	27,90
06/09/2019 08:00	98,29	108,95	113,77	75,10	29,50
06/09/2019 09:00	89,00	105,47	109,92	68,40	30,90
06/09/2019 10:00	94,44	102,62	106,74	61,90	32,30
06/09/2019 11:00	72,45	96,44	102,87	53,40	33,40
06/09/2019 12:00	87,09	91,57	92,03	41,70	35,80
06/09/2019 13:00	74,91	85,73	79,57	45,90	35,00
06/09/2019 14:00	63,25	73,27	74,16	45,40	35,60
06/09/2019 15:00	59,40	70,86	75,85	45,40	35,30
06/09/2019 16:00	59,80	69,55	76,85	43,40	36,00
06/09/2019 17:00	61,62	71,55	85,65	46,60	35,40
06/09/2019 18:00	69,06	74,35	95,00	48,30	34,80
06/09/2019 19:00	70,46	79,70	100,87	56,60	32,70
06/09/2019 20:00	85,20	94,57	112,36	59,90	31,90
06/09/2019 21:00	95,42	104,06	113,46	65,90	31,30
06/09/2019 22:00	91,24	102,16	106,79	68,60	31,30
06/09/2019 23:00	80,69	90,49	99,08	68,60	30,70
07/09/2019 00:00	73,18	82,78	91,91	62,30	30,70
07/09/2019 01:00	67,48	75,61	89,33	66,50	29,80
07/09/2019 02:00	64,74	73,03	83,43	67,30	29,50
07/09/2019 03:00	58,12	67,13	81,73	67,70	29,20

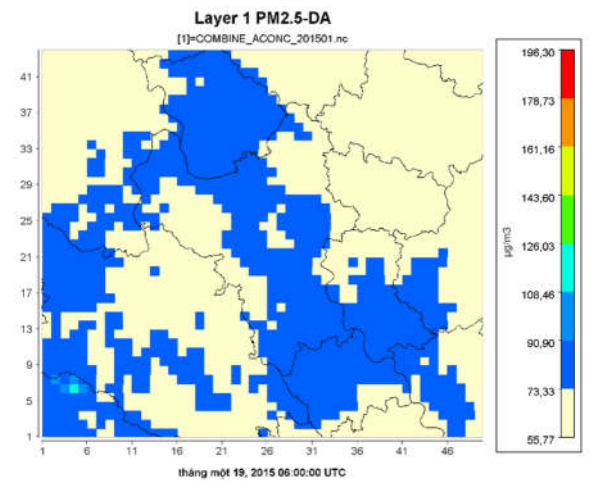
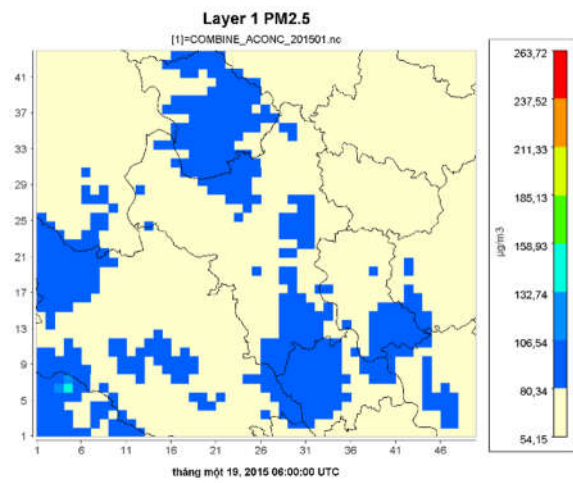
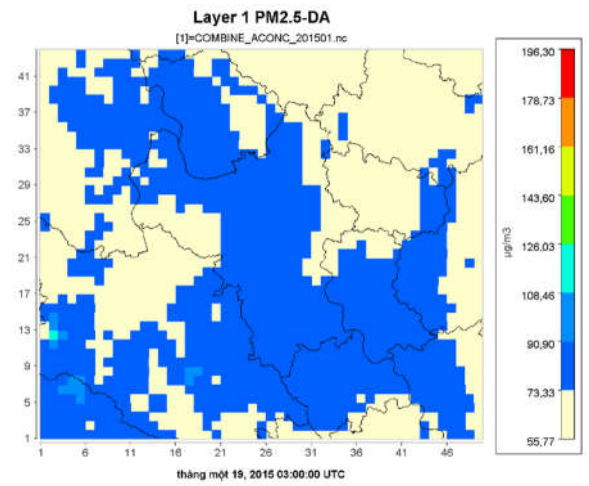
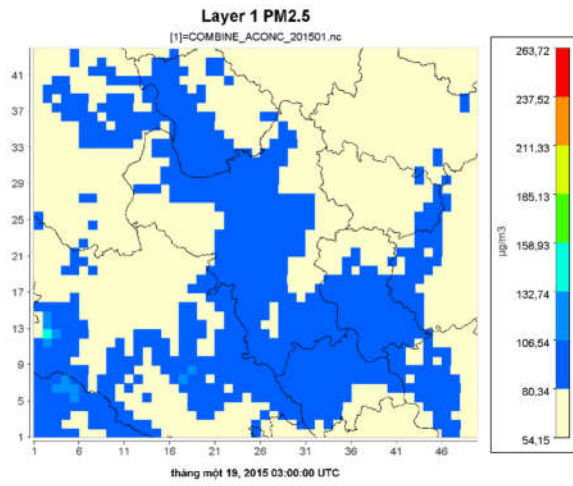
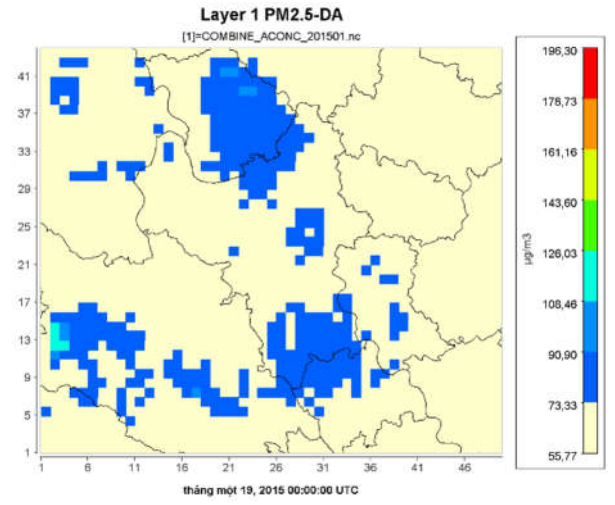
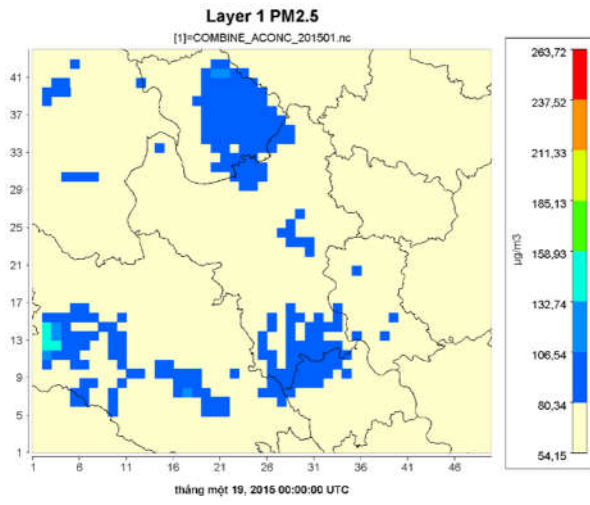
Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
07/09/2019 04:00	55,88	68,43	80,74	68,40	28,90
07/09/2019 05:00	63,96	72,44	81,71	68,50	28,90
07/09/2019 06:00	65,72	75,41	83,93	77,00	28,50
07/09/2019 07:00	58,93	77,63	84,17	67,30	29,60
07/09/2019 08:00	67,20	76,87	81,82	63,30	30,70
07/09/2019 09:00	57,18	74,52	80,02	58,60	32,80
07/09/2019 10:00	55,39	70,72	75,99	52,10	34,50
07/09/2019 11:00	52,75	63,69	70,55	48,50	35,50
07/09/2019 12:00	43,14	57,25	67,20	43,80	36,60
07/09/2019 13:00	42,60	51,90	55,37	45,40	36,60
07/09/2019 14:00	38,74	49,07	53,58	44,80	37,20
07/09/2019 15:00	37,46	47,28	57,12	47,60	35,90
07/09/2019 16:00	34,65	48,82	64,19	79,20	29,70
07/09/2019 17:00	48,69	57,89	71,06	57,30	33,60
07/09/2019 18:00	56,11	64,76	72,21	60,40	32,50
07/09/2019 19:00	43,48	66,91	73,52	64,20	31,70
07/09/2019 20:00	58,40	67,22	69,48	68,50	31,30
07/09/2019 21:00	54,20	63,18	66,51	70,60	30,70
07/09/2019 22:00	42,78	61,21	64,57	72,10	30,40
07/09/2019 23:00	48,84	57,27	62,56	76,30	29,80
08/09/2019 00:00	51,79	51,26	60,27	77,70	29,60
08/09/2019 01:00	39,52	48,97	57,07	78,40	29,40
08/09/2019 02:00	40,97	46,77	51,70	78,70	29,30
08/09/2019 03:00	35,62	45,40	49,76	79,70	29,10
08/09/2019 04:00	32,55	46,46	54,26	80,80	28,90
08/09/2019 05:00	38,16	47,96	57,43	81,70	28,80
08/09/2019 06:00	32,76	49,13	60,95	82,00	28,80
08/09/2019 07:00	43,39	52,65	66,41	80,80	29,20
08/09/2019 08:00	51,62	58,11	69,39	78,30	29,80
08/09/2019 09:00	54,80	63,09	72,45	68,50	31,70

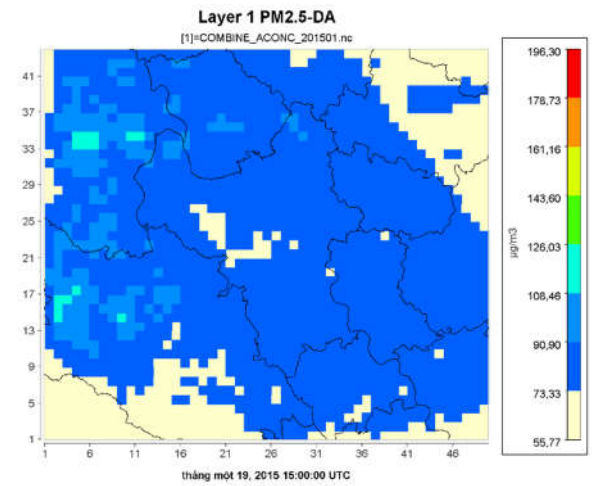
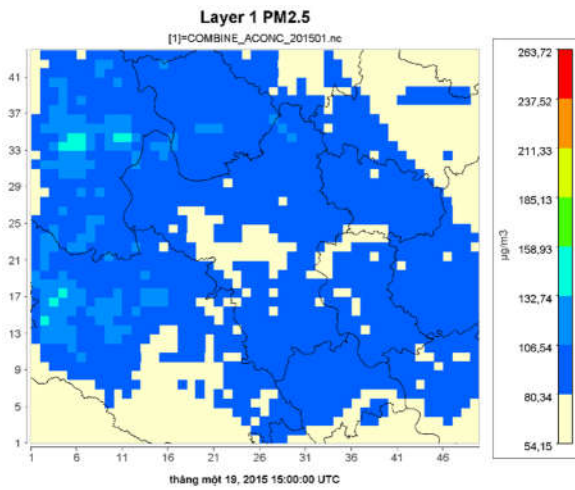
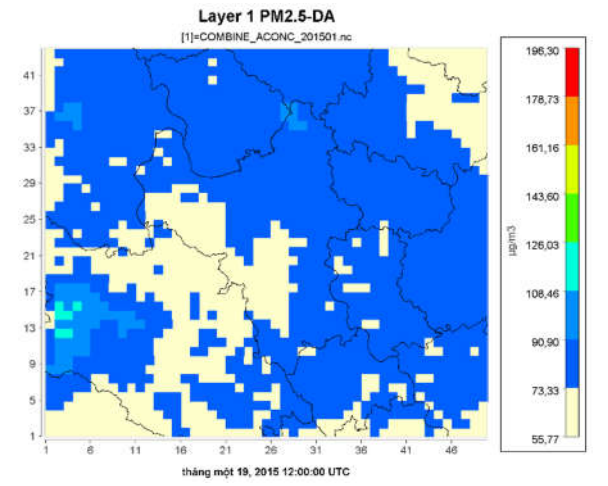
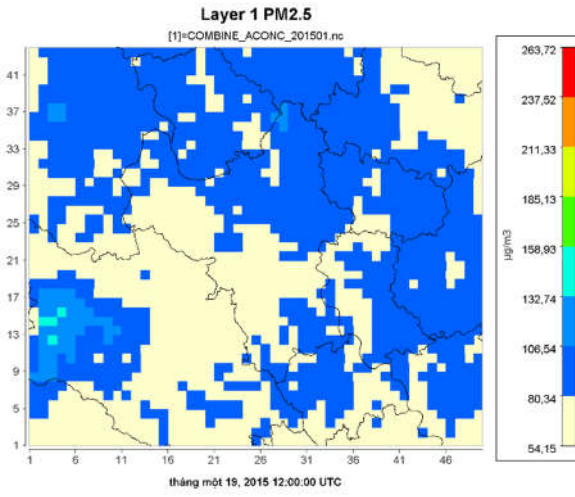
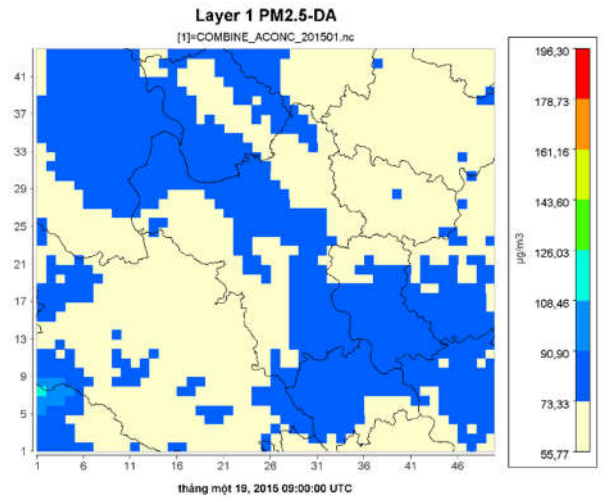
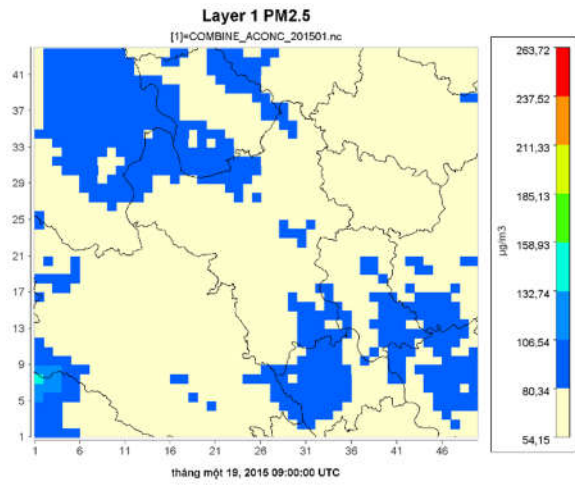
Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
08/09/2019 10:00	59,24	65,15	71,59	60,80	33,20
08/09/2019 11:00	54,94	65,29	68,84	56,50	33,70
08/09/2019 12:00	48,69	58,54	64,62	59,40	33,70
08/09/2019 13:00	43,07	53,32	58,16	56,10	34,50
08/09/2019 14:00	31,25	51,86	55,76	53,40	35,60
08/09/2019 15:00	40,12	49,46	55,32	55,00	35,00
08/09/2019 16:00	38,22	49,02	58,30	72,80	31,50
08/09/2019 17:00	42,11	52,00	58,34	69,70	32,30
08/09/2019 18:00	43,37	52,04	57,69	71,90	30,50
08/09/2019 19:00	40,60	51,39	56,15	74,80	30,90
08/09/2019 20:00	40,61	47,85	53,96	66,70	30,40
08/09/2019 21:00	28,43	42,66	50,51	66,00	29,30
08/09/2019 22:00	25,69	42,21	51,56	65,50	29,40
08/09/2019 23:00	34,60	45,26	52,43	71,70	29,00
09/09/2019 00:00	36,79	46,13	53,74	74,80	29,00
09/09/2019 01:00	37,53	47,44	57,84	76,90	29,30
09/09/2019 02:00	40,53	50,54	58,44	76,70	29,40
09/09/2019 03:00	32,06	48,14	54,12	77,30	29,40
09/09/2019 04:00	36,95	45,82	49,15	77,50	29,40
09/09/2019 05:00	29,23	37,85	46,65	78,30	29,20
09/09/2019 06:00	24,10	34,35	45,46	78,60	29,20
09/09/2019 07:00	25,71	36,16	47,93	79,80	29,70
09/09/2019 08:00	32,72	41,63	53,57	78,00	30,30
09/09/2019 09:00	37,14	47,27	54,92	73,20	31,30
09/09/2019 10:00	35,37	49,62	58,75	66,30	32,90
09/09/2019 11:00	41,96	52,45	56,92	59,50	34,50
09/09/2019 12:00	40,40	50,62	53,51	54,70	35,10
09/09/2019 13:00	37,70	47,21	51,29	50,20	35,60
09/09/2019 14:00	30,45	42,99	48,93	50,20	35,70
09/09/2019 15:00	34,31	43,63	52,95	54,60	34,60

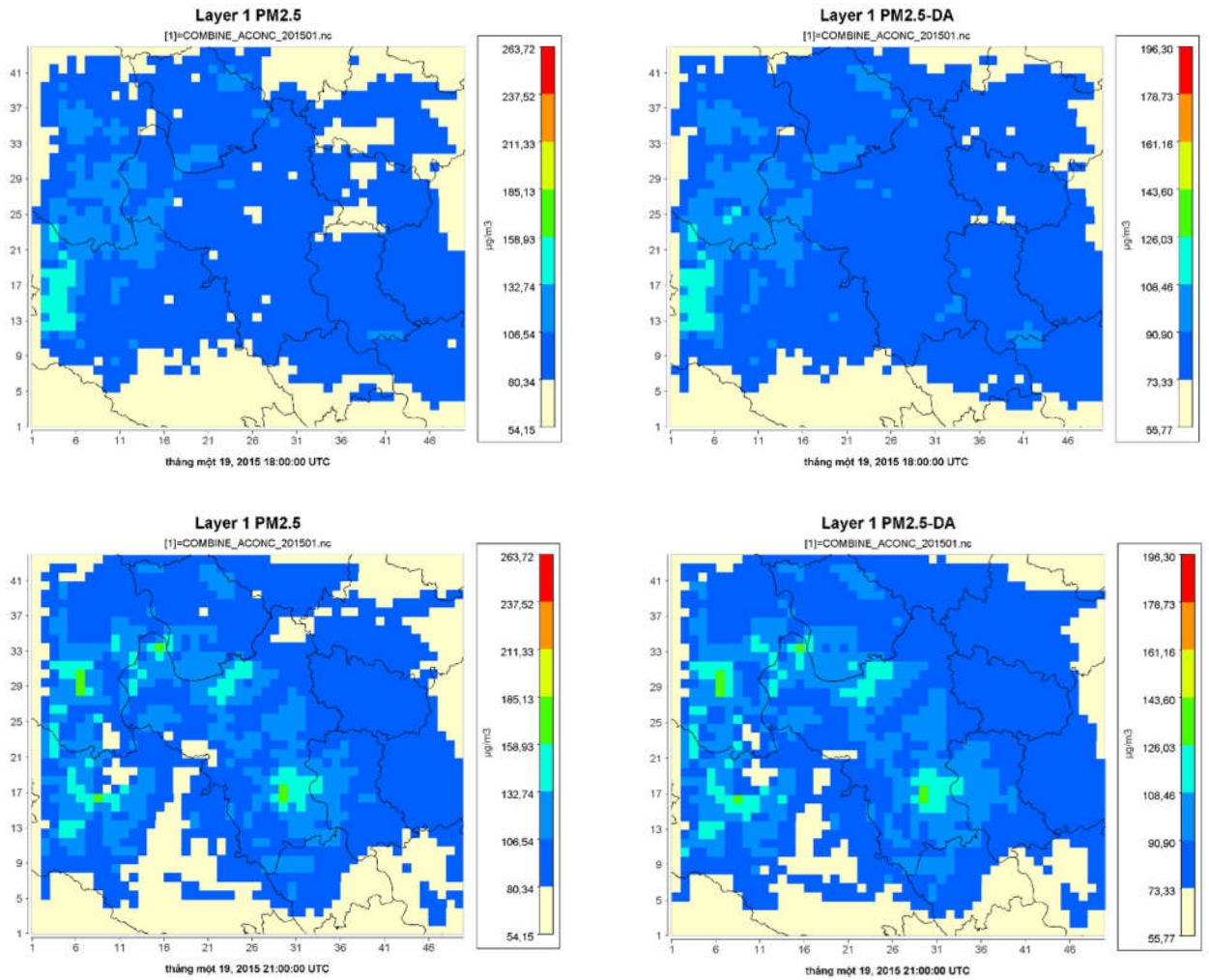
Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
09/09/2019 16:00	35,93	48,65	62,12	63,30	33,20
09/09/2019 17:00	47,82	55,82	63,79	76,20	30,00
09/09/2019 18:00	48,07	57,49	61,50	86,20	27,40
09/09/2019 19:00	46,46	54,90	60,33	87,80	28,00
09/09/2019 20:00	40,87	50,03	59,29	83,30	28,20
09/09/2019 21:00	43,84	50,99	57,66	81,90	28,20
09/09/2019 22:00	42,74	51,36	55,47	78,50	28,10
09/09/2019 23:00	38,16	47,17	53,86	80,50	29,20
10/09/2019 00:00	30,07	45,56	51,66	82,00	29,30
10/09/2019 01:00	35,47	44,36	49,58	82,80	29,20
10/09/2019 02:00	32,51	42,28	50,46	84,00	28,80
10/09/2019 03:00	29,33	42,16	51,96	85,50	28,60
10/09/2019 04:00	34,55	45,66	55,82	87,40	28,60
10/09/2019 05:00	41,27	49,52	56,16	88,60	28,50
10/09/2019 06:00	37,79	46,86	53,01	88,70	28,60
10/09/2019 07:00	29,32	39,71	46,23	85,90	26,50
10/09/2019 08:00	25,52	33,93	41,05	84,60	25,90
10/09/2019 09:00	14,37	28,75	35,99	82,80	25,90
10/09/2019 10:00	19,64	27,69	34,76	82,30	25,80
10/09/2019 11:00	14,01	28,46	35,47	88,10	25,20
10/09/2019 12:00	18,28	29,17	36,74	88,30	25,30
10/09/2019 13:00	20,87	30,44	40,82	87,60	25,20
10/09/2019 14:00	25,27	34,52	42,51	86,50	25,40
10/09/2019 15:00	20,25	36,21	43,86	85,70	25,80
10/09/2019 16:00	28,68	38,56	42,44	83,30	26,30
10/09/2019 17:00	21,41	35,14	38,55	83,40	26,30
10/09/2019 18:00	16,07	30,25	35,14	83,90	26,30
10/09/2019 19:00	11,96	28,84	33,34	80,20	26,50
10/09/2019 20:00	17,79	27,04	34,04	84,60	26,30
10/09/2019 21:00	18,45	28,74	41,08	77,20	26,90

Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
10/09/2019 22:00	28,61	34,78	42,93	83,40	26,10
10/09/2019 23:00	26,74	36,63	44,49	84,30	26,00
11/09/2019 00:00	26,10	38,19	46,40	84,50	26,10
11/09/2019 01:00	30,10	40,10	49,22	84,40	26,10
11/09/2019 02:00	31,84	42,92	55,92	84,10	25,80
11/09/2019 03:00	35,06	49,62	71,21	83,60	25,80
11/09/2019 04:00	65,32	64,91	76,09	84,20	25,70
11/09/2019 05:00	61,60	67,79	73,79	84,50	25,70
11/09/2019 06:00	55,67	66,49	71,94	83,20	25,60
11/09/2019 07:00	41,96	61,64	69,42	87,20	25,50
11/09/2019 08:00	38,39	53,12	67,59	84,30	26,20
11/09/2019 09:00	32,80	51,29	64,55	78,80	28,20
11/09/2019 10:00	47,92	53,25	61,75	77,40	28,80
11/09/2019 11:00	42,95	54,45	59,33	68,80	30,80
11/09/2019 12:00	39,50	56,03	58,78	72,90	30,20
11/09/2019 13:00	53,51	52,48	55,23	86,40	25,80
11/09/2019 14:00	39,23	49,93	51,43	86,60	27,70
11/09/2019 15:00	33,32	47,13	48,12	65,10	31,80
11/09/2019 16:00	39,74	49,82	50,91	66,80	29,60
11/09/2019 17:00	34,83	49,61	54,34	77,80	28,10
11/09/2019 18:00	39,81	48,04	54,30	82,10	27,20
11/09/2019 19:00	36,84	48,00	52,55	77,00	27,60
11/09/2019 20:00	35,83	46,25	49,05	76,10	27,60
11/09/2019 21:00	32,18	42,75	40,32	76,30	27,20
11/09/2019 22:00	23,88	38,02	36,57	83,40	26,40
11/09/2019 23:00	21,57	34,27	39,88	83,70	26,20
12/09/2019 00:00	22,30	36,58	49,44	83,50	26,30
12/09/2019 01:00	34,18	43,14	51,46	84,10	26,20
12/09/2019 02:00	34,21	45,16	52,48	84,10	26,30
12/09/2019 03:00	35,88	46,18	55,48	85,50	26,30

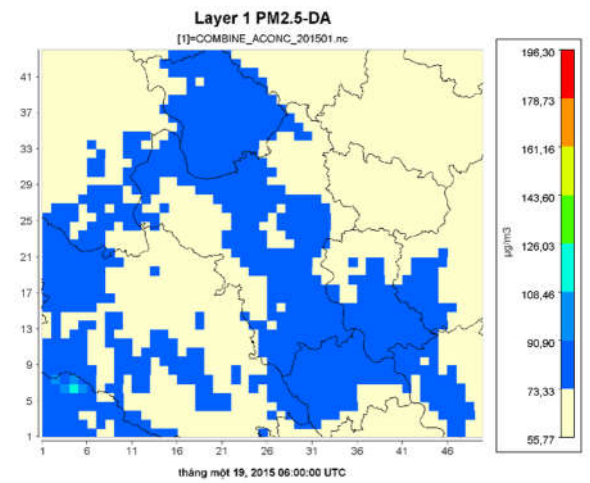
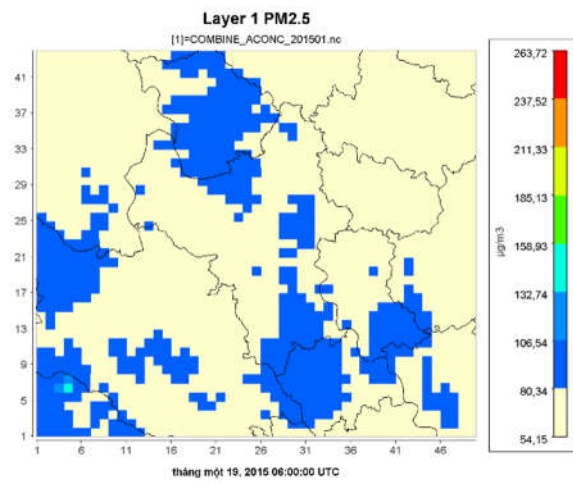
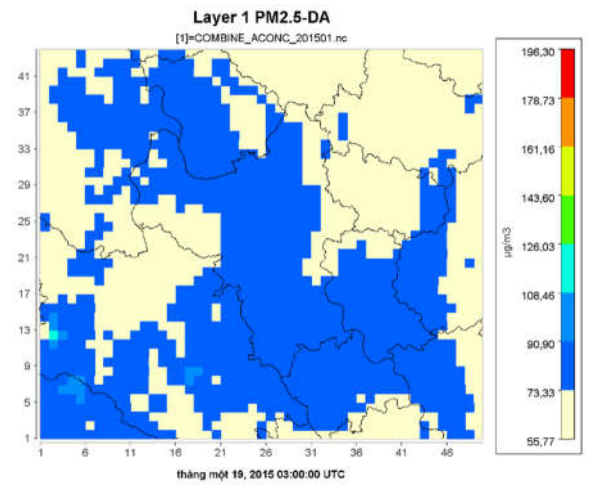
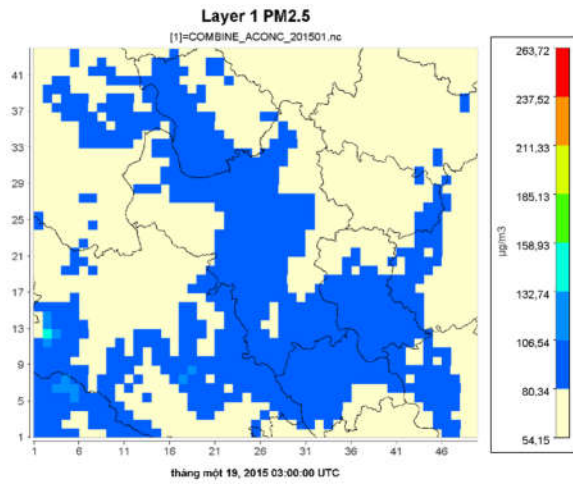
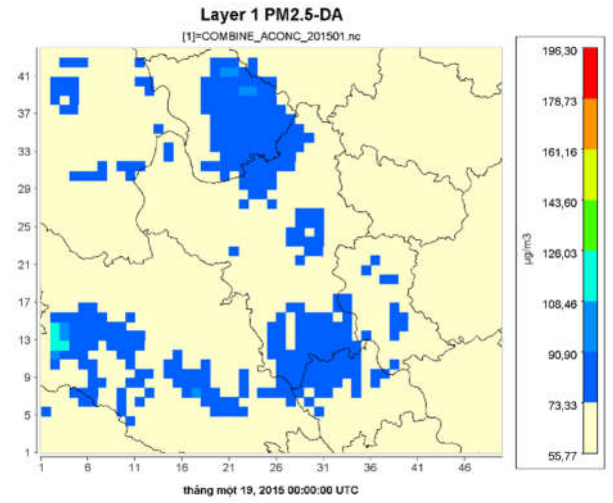
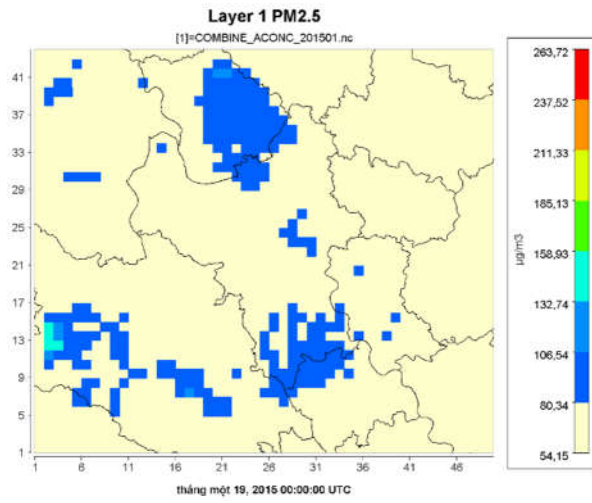
Time	PM _{2.5_QT}	PM _{2.5_AF}	PM _{2.5_BF}	RH (%)	Temp (°C)
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				
12/09/2019 04:00	37,90	50,18	61,01	85,70	26,10
12/09/2019 05:00	46,06	54,71	64,62	87,10	26,00
12/09/2019 06:00	48,51	58,32	70,21	88,20	27,10
12/09/2019 07:00	54,84	63,91	79,17	83,10	26,80
12/09/2019 08:00	62,37	72,87	84,50	75,90	28,50
12/09/2019 09:00	67,87	78,20	86,15	73,10	29,20
12/09/2019 10:00	68,96	78,85	83,40	66,70	30,70
12/09/2019 11:00	56,57	75,10	79,07	61,90	31,60
12/09/2019 12:00	52,40	70,77	75,25	65,50	31,10
12/09/2019 13:00	49,91	58,95	66,51	58,50	32,60
12/09/2019 14:00	37,36	52,21	61,74	56,10	33,10
12/09/2019 15:00	36,88	45,44	58,46	50,90	33,70
12/09/2019 16:00	33,14	46,16	56,28	50,20	33,70
12/09/2019 17:00	40,86	49,98	58,31	54,20	33,00
12/09/2019 18:00	33,43	52,01	61,57	56,10	32,40
12/09/2019 19:00	31,65	55,27	64,12	67,50	30,50
12/09/2019 20:00	47,86	58,82	71,93	70,50	30,00
12/09/2019 21:00	56,34	63,63	72,80	72,90	29,50
12/09/2019 22:00	56,89	66,50	74,29	74,00	29,20
12/09/2019 23:00	57,36	67,99	76,33	76,00	29,00

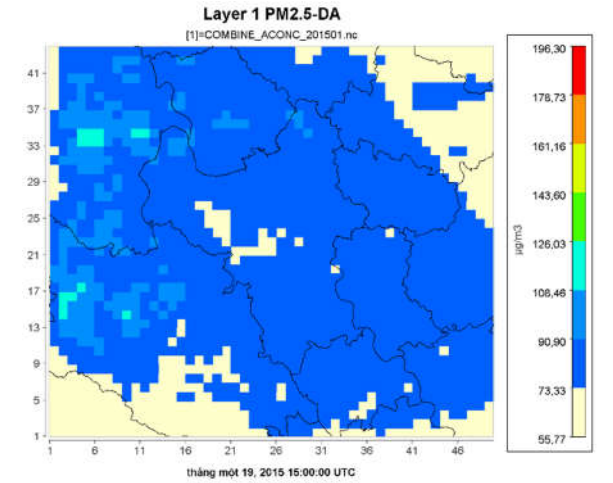
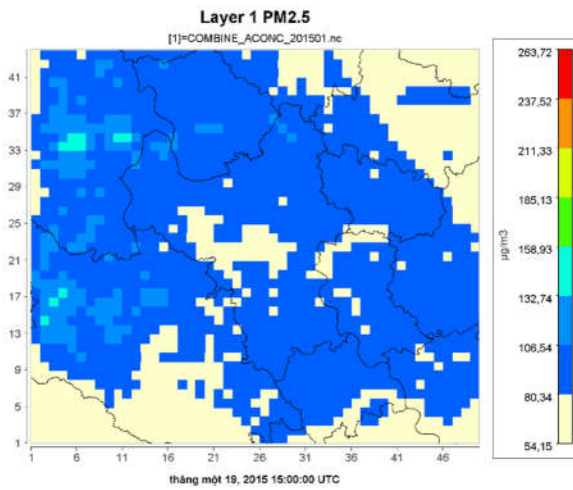
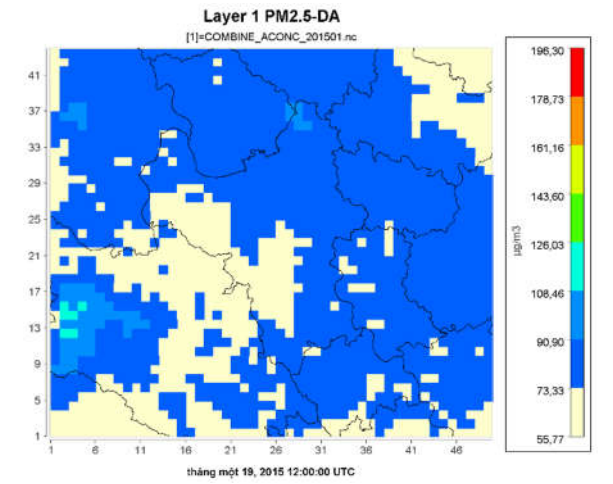
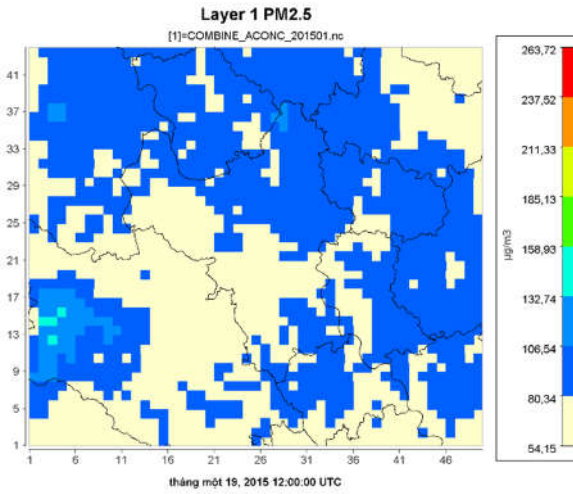
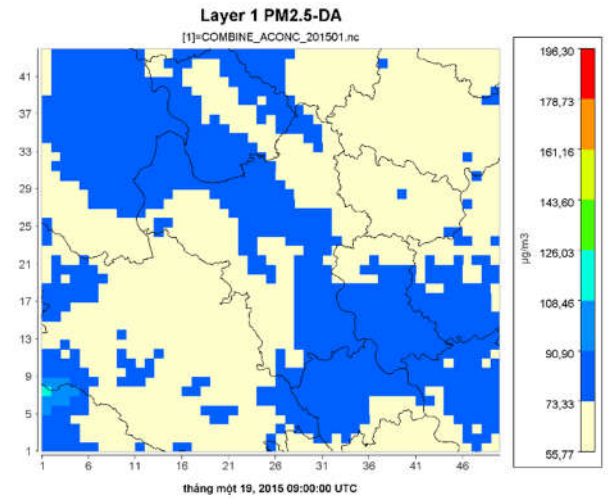
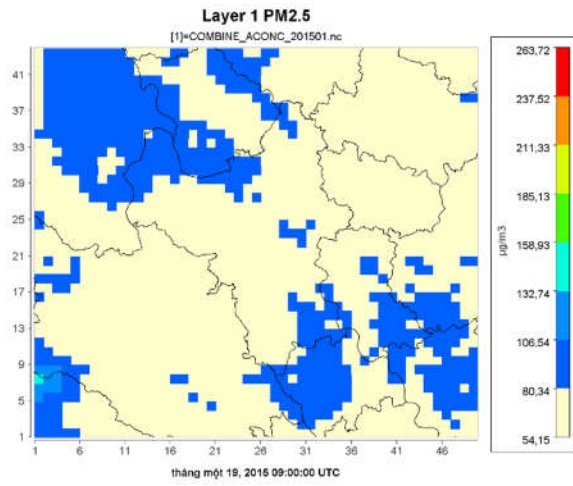


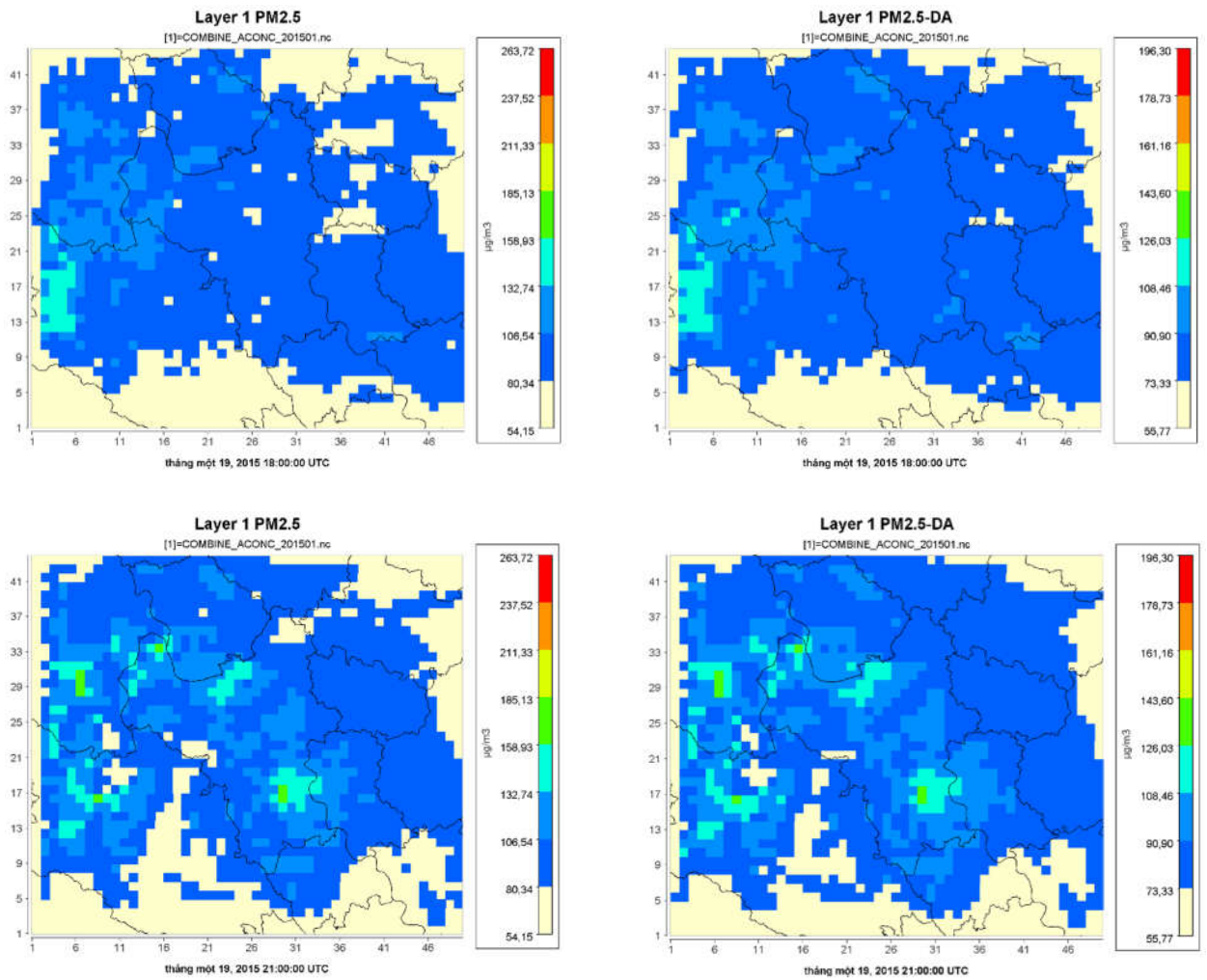




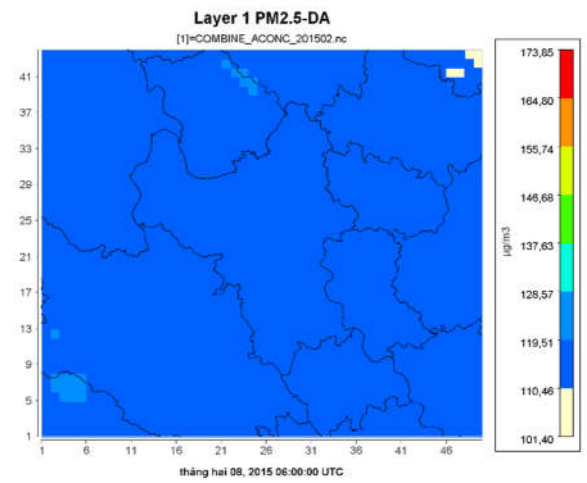
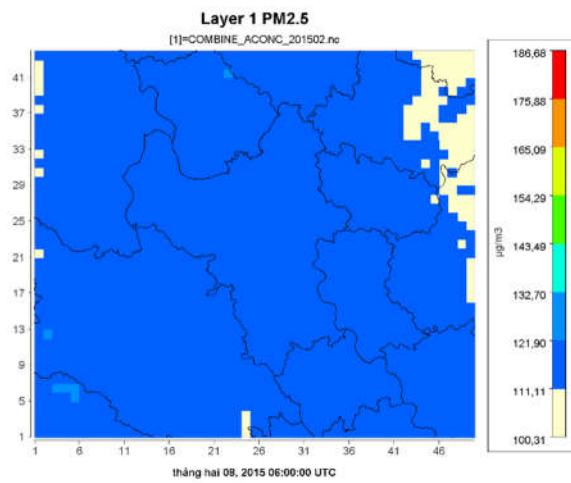
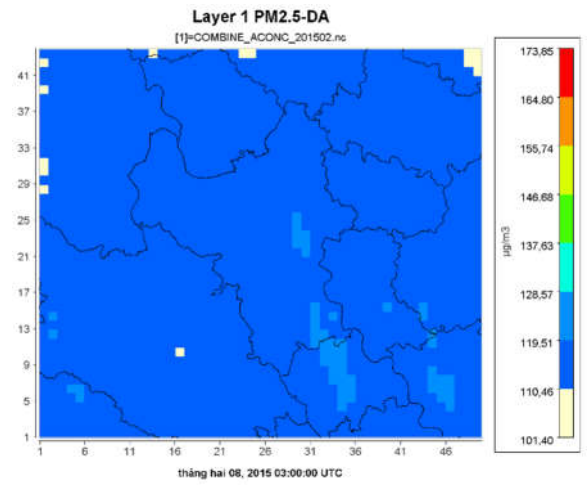
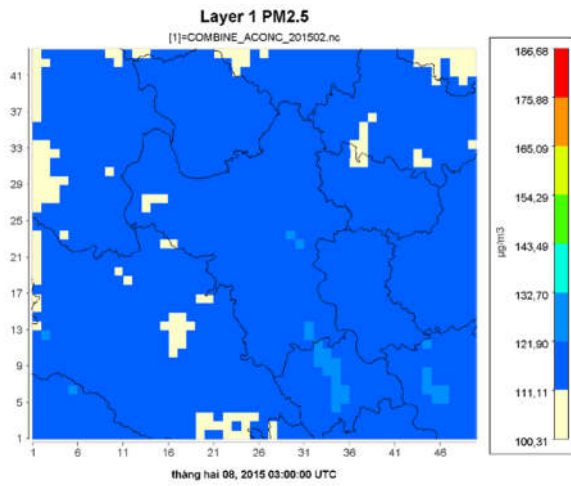
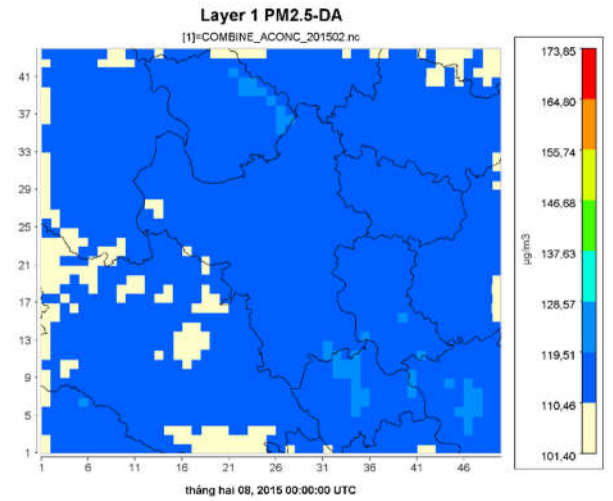
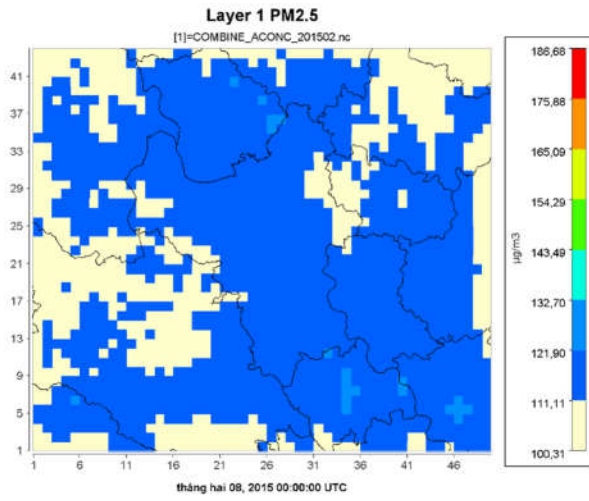
Hình PL.05: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 19/01/2015

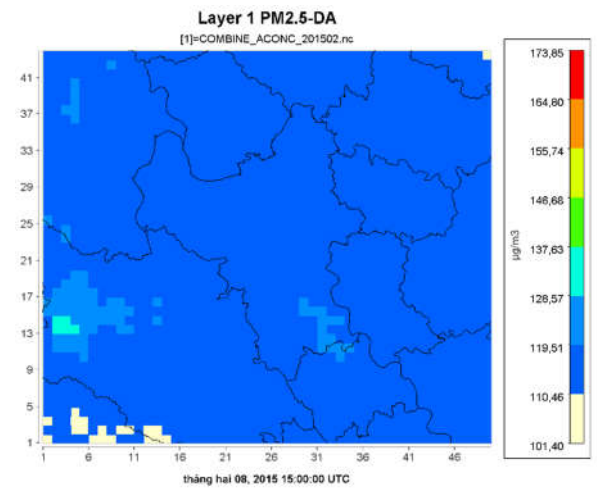
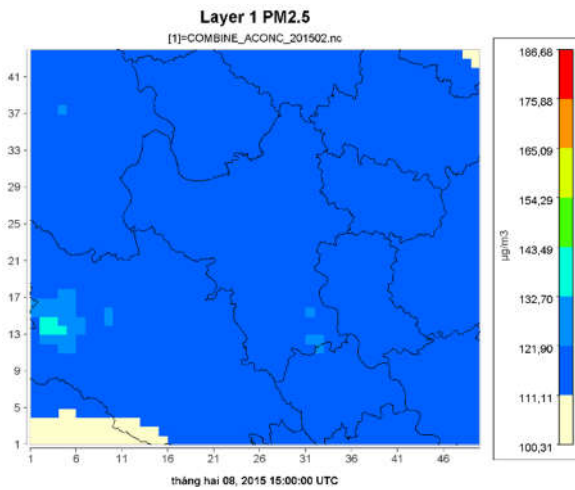
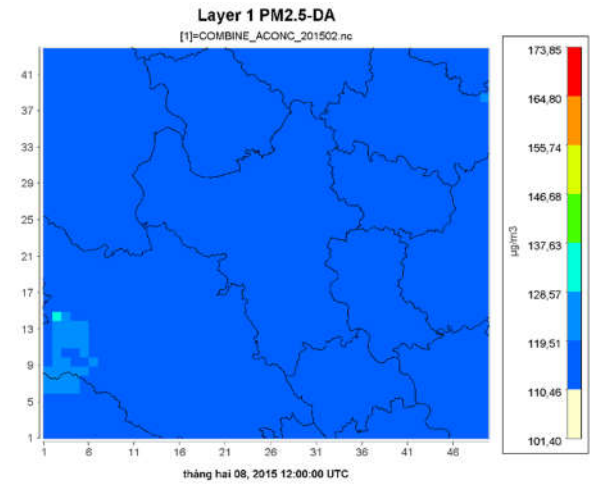
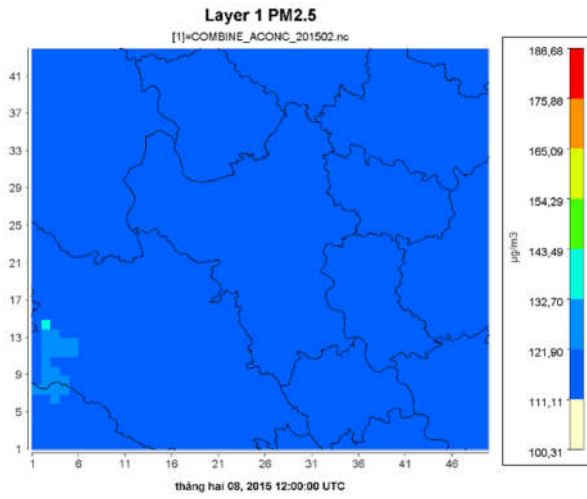
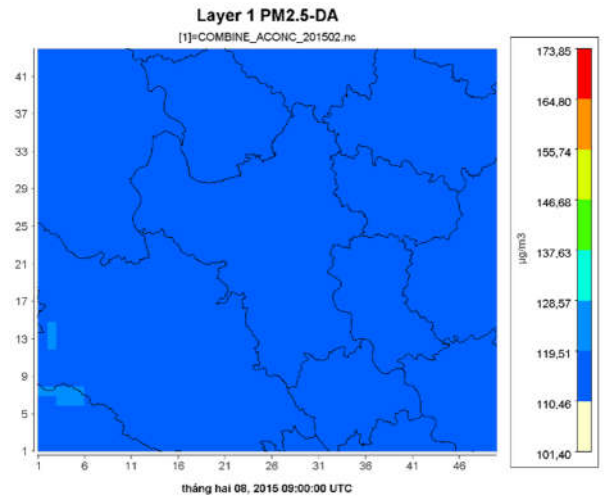
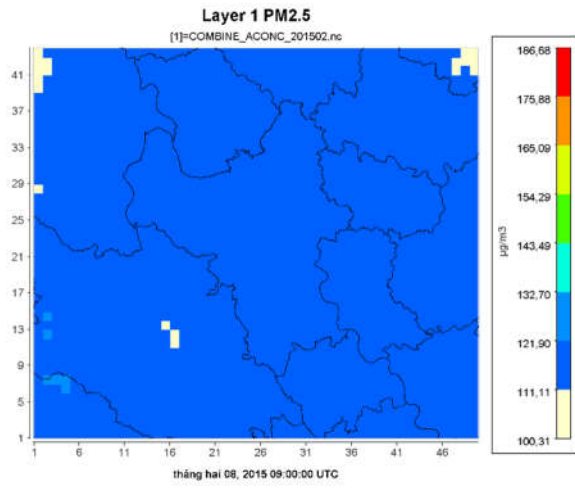


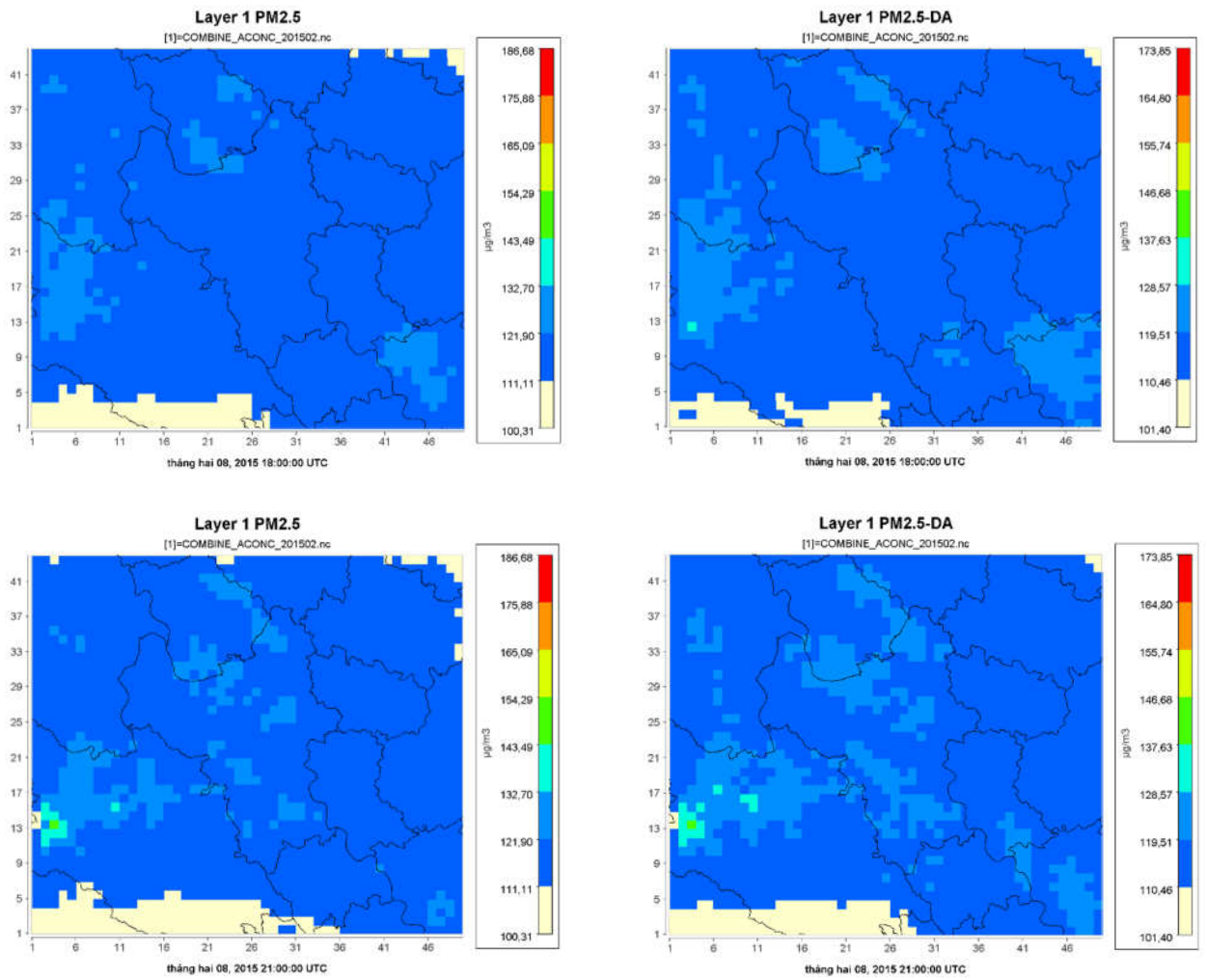




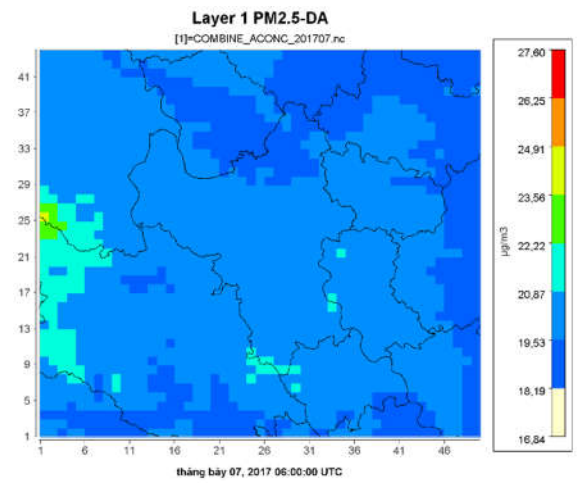
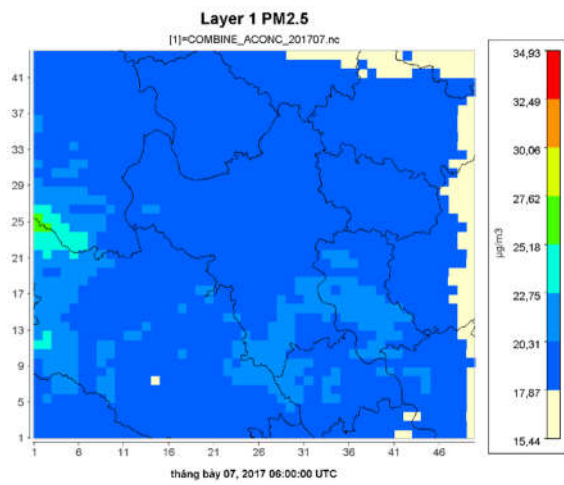
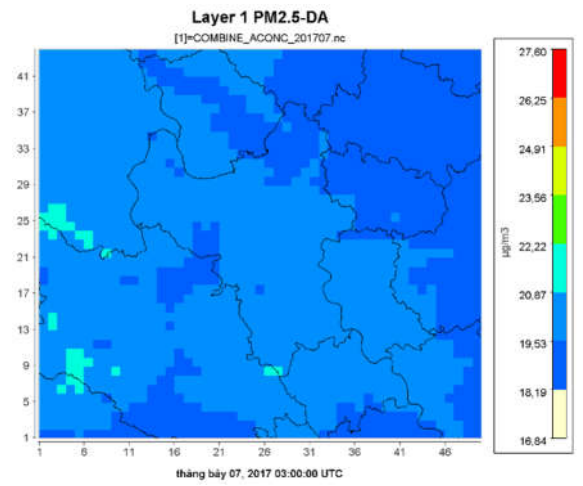
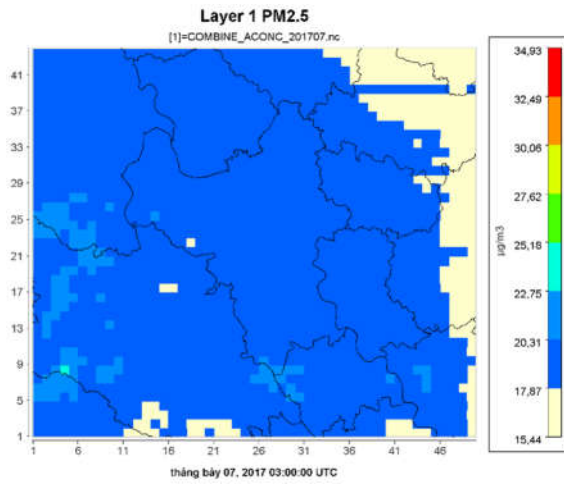
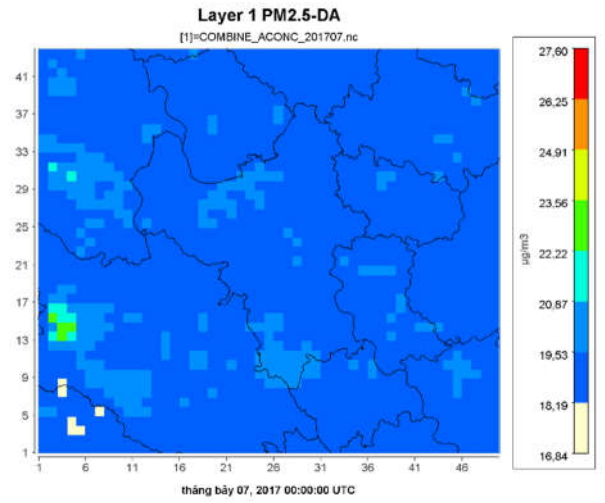
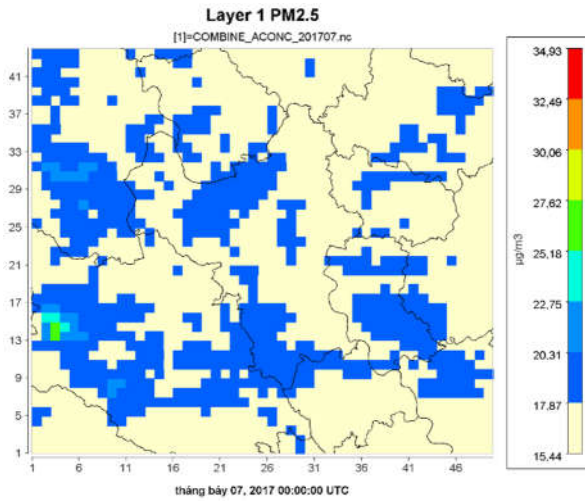
Hình PL.06: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 19/01/2015

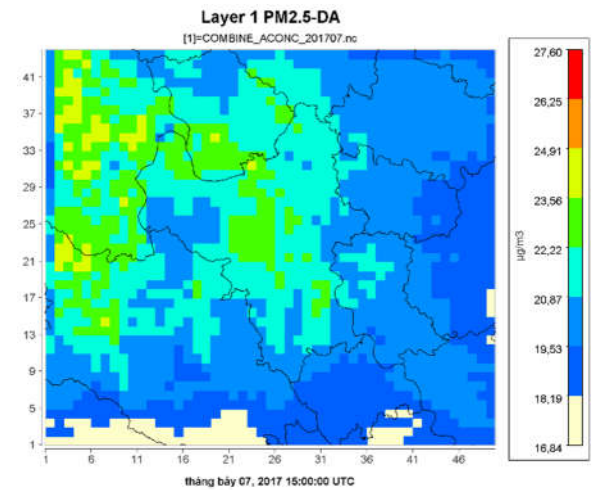
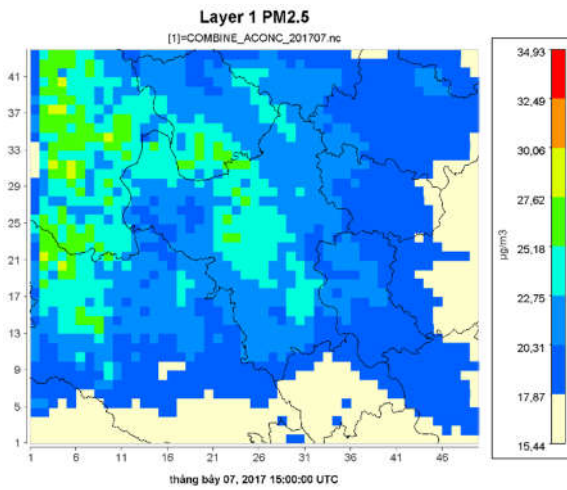
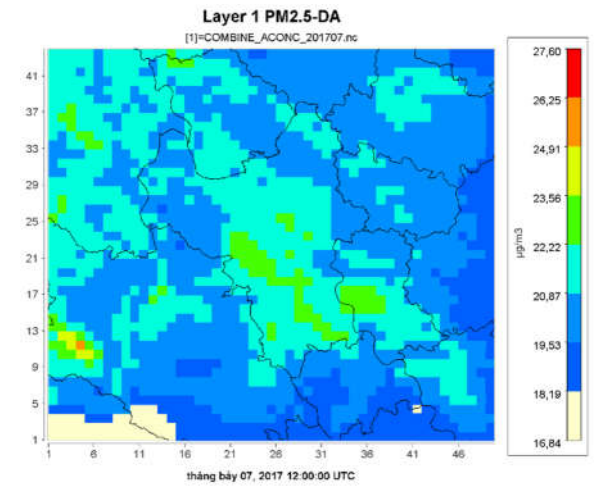
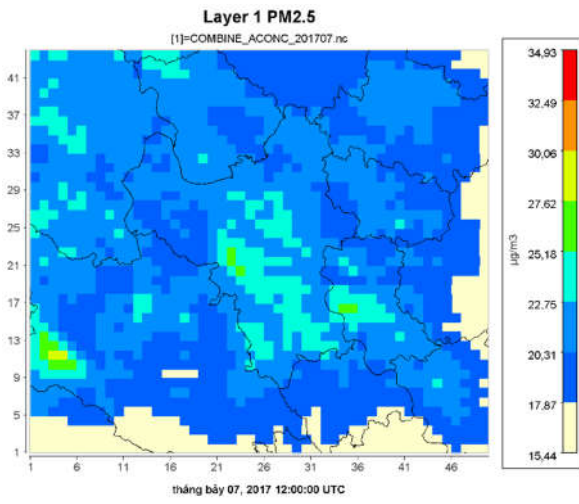
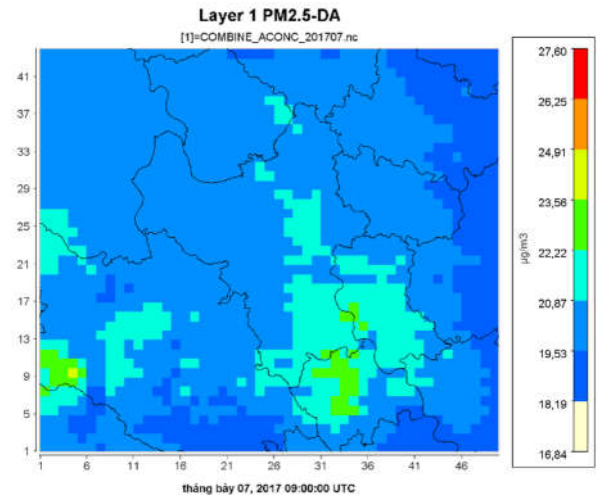
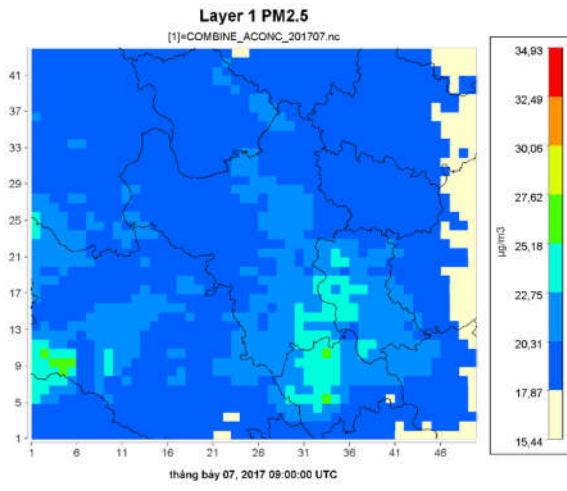


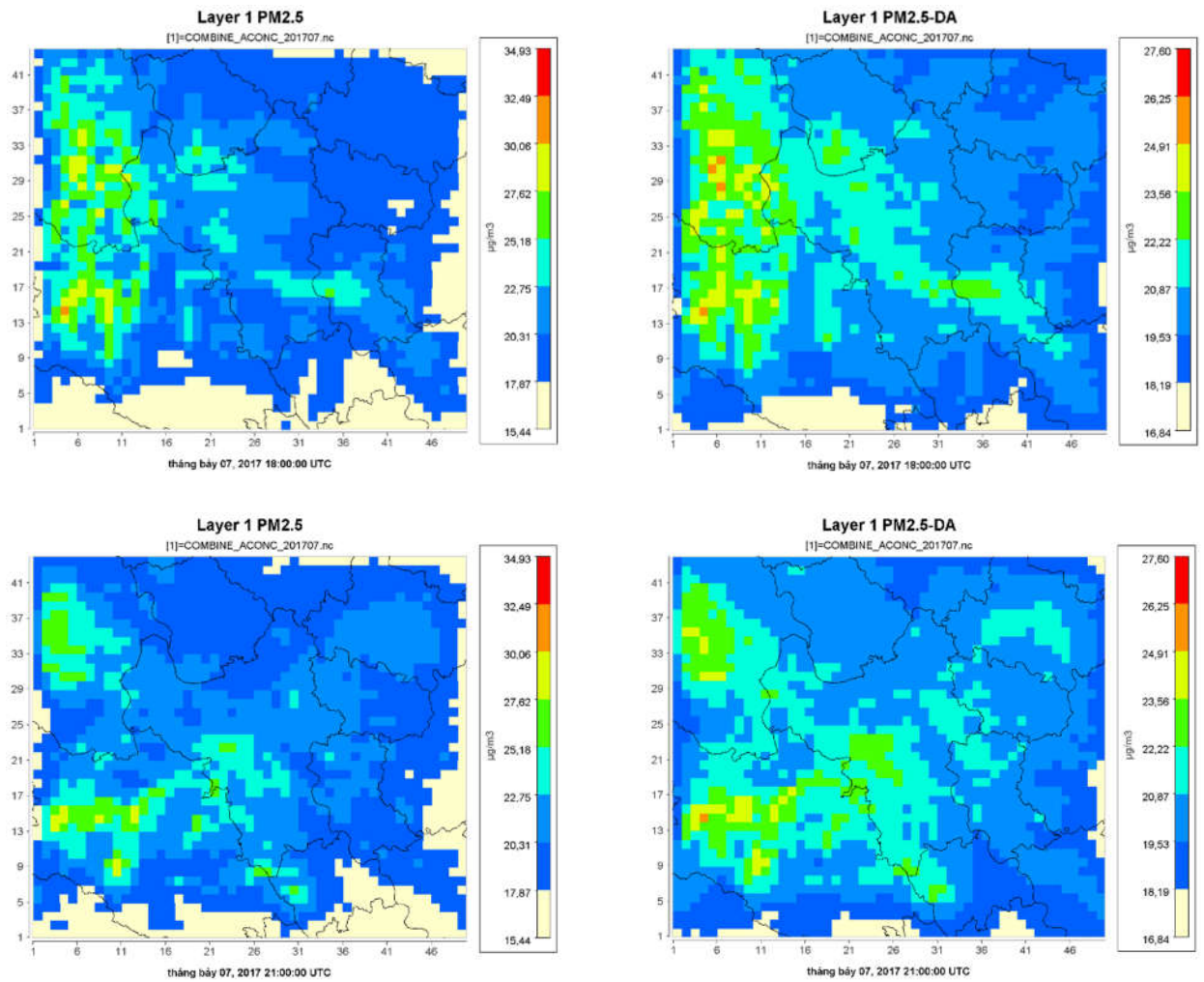




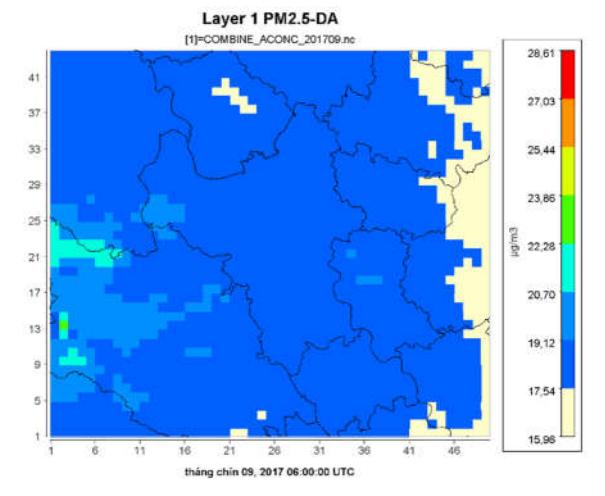
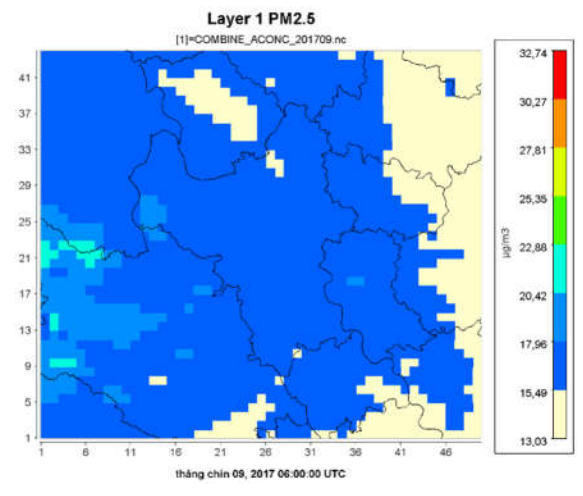
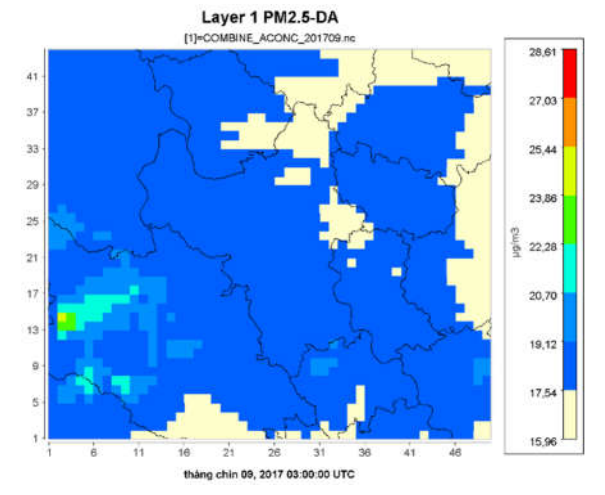
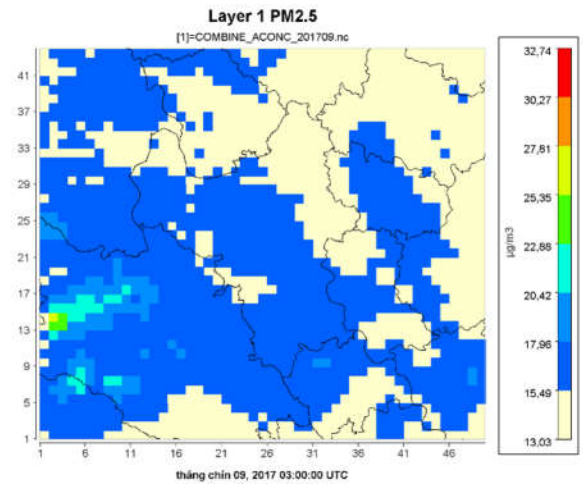
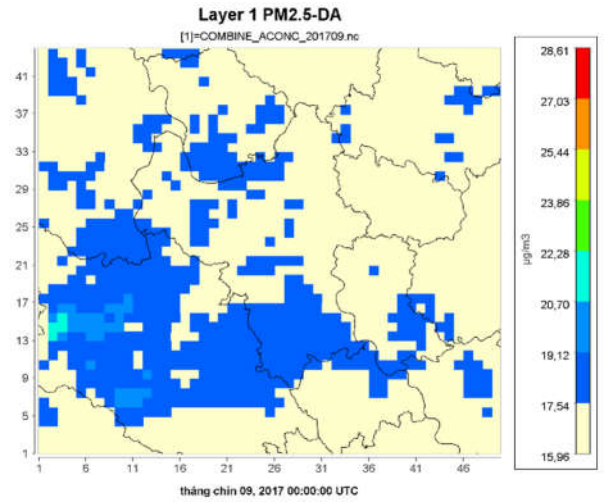
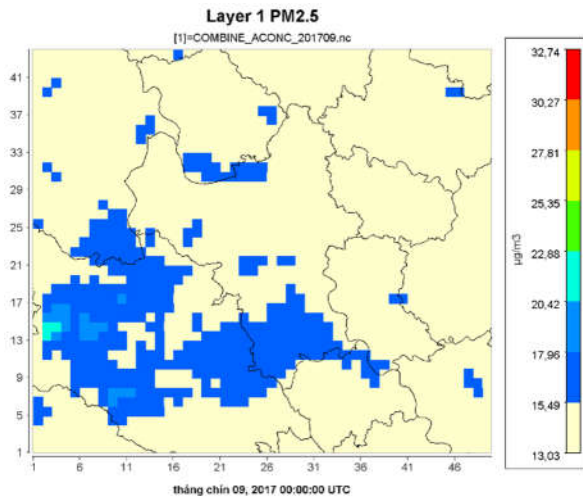
Hình PL.07: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 08/02/2015

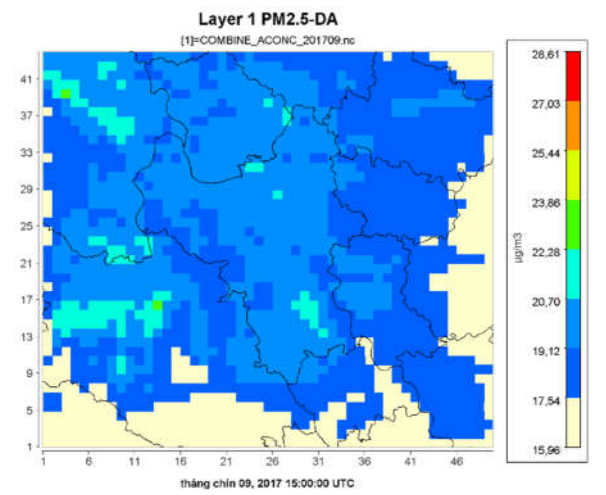
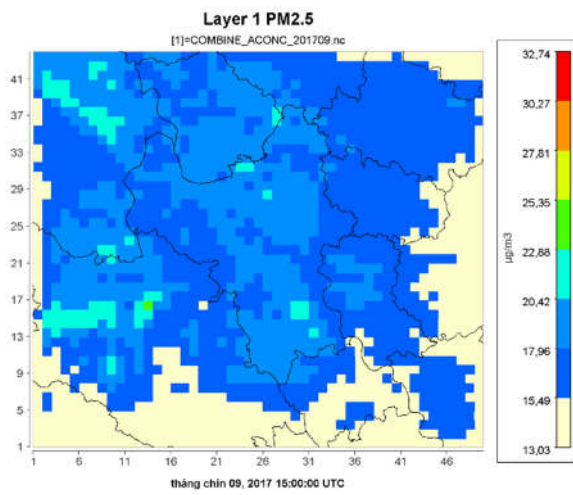
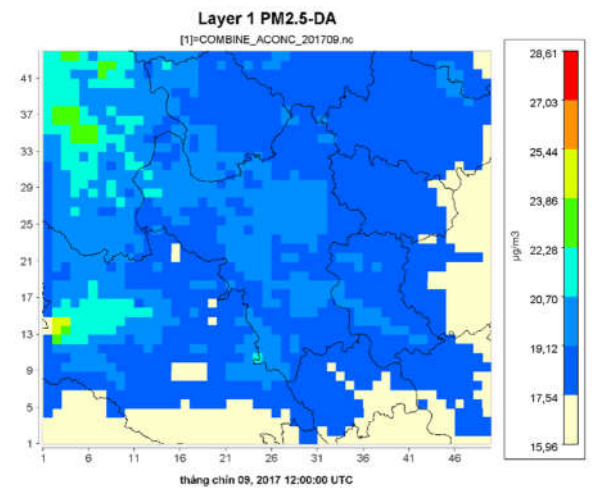
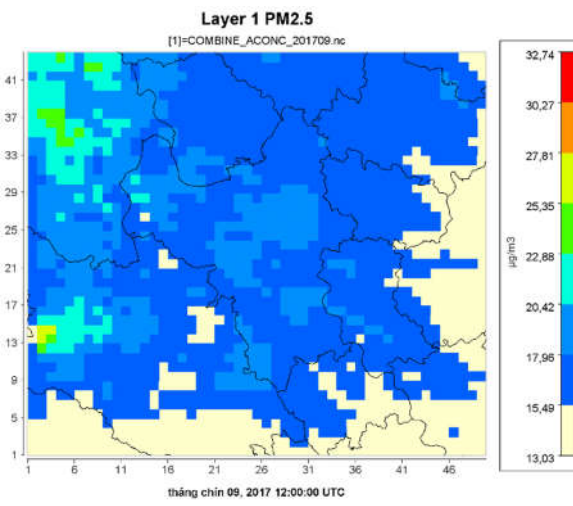
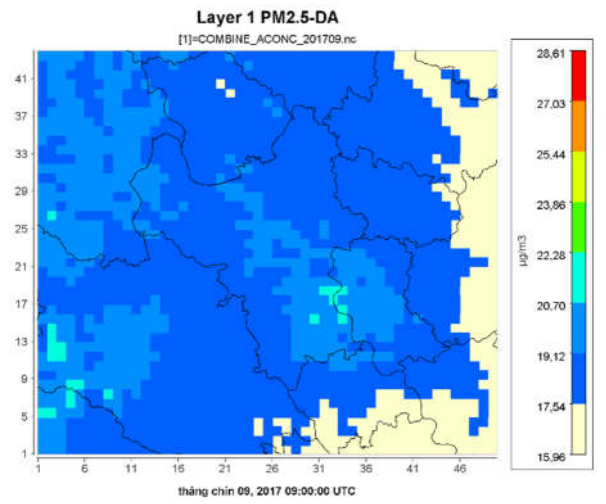
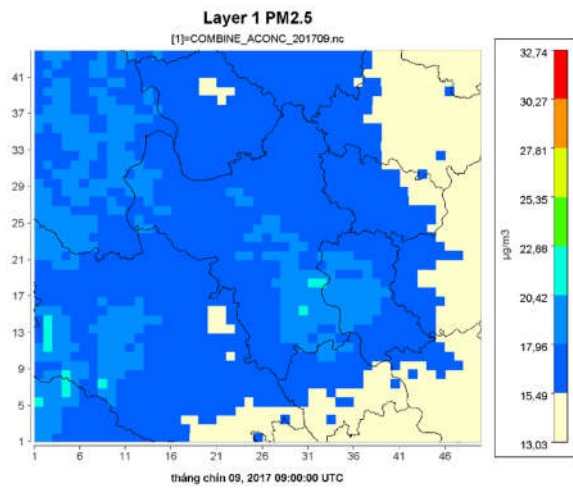


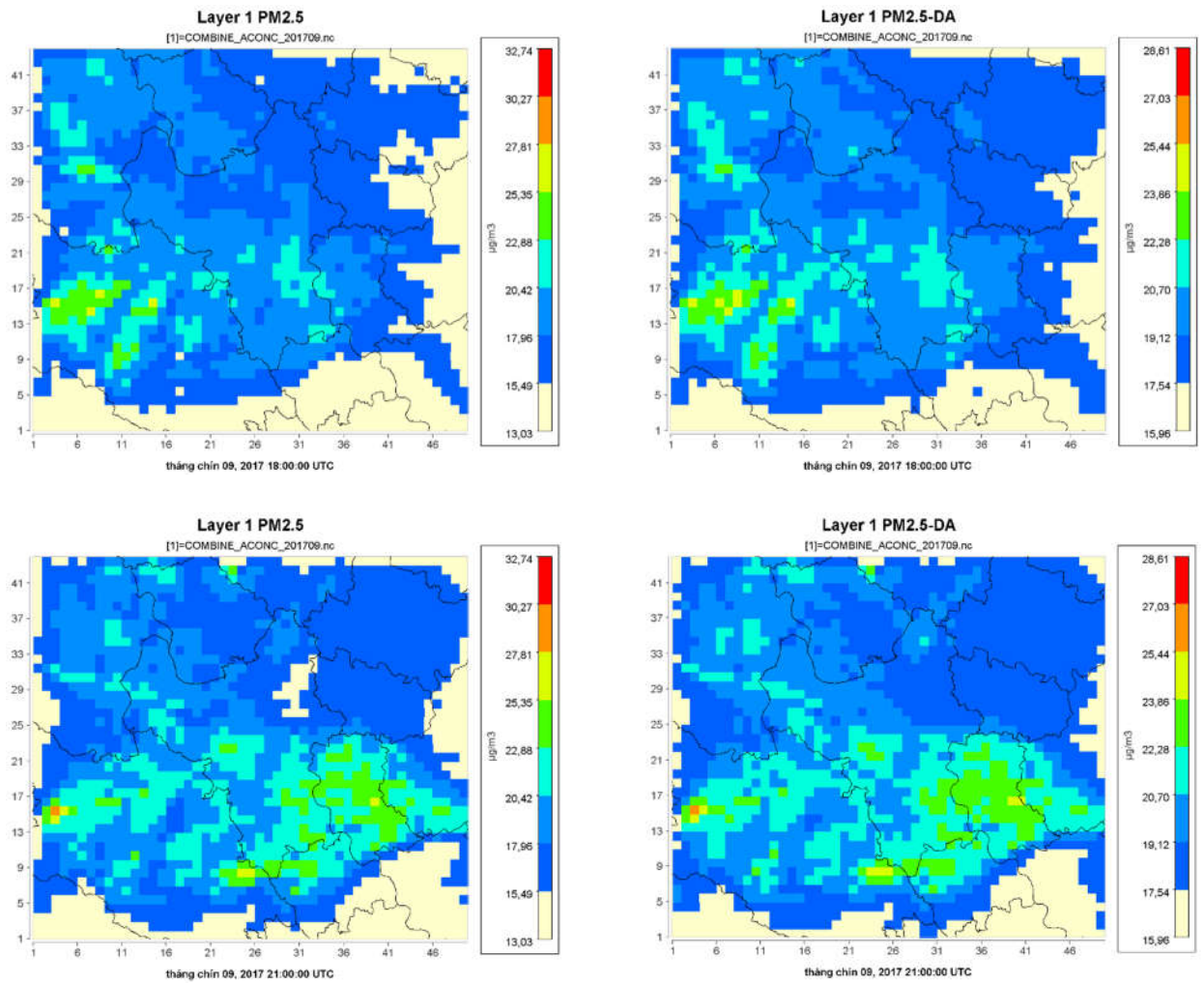




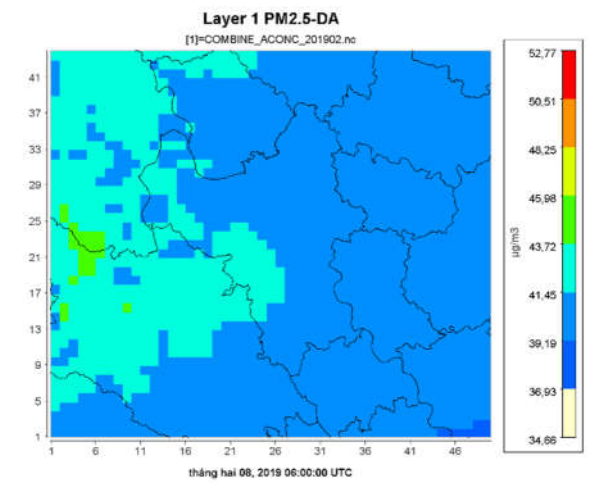
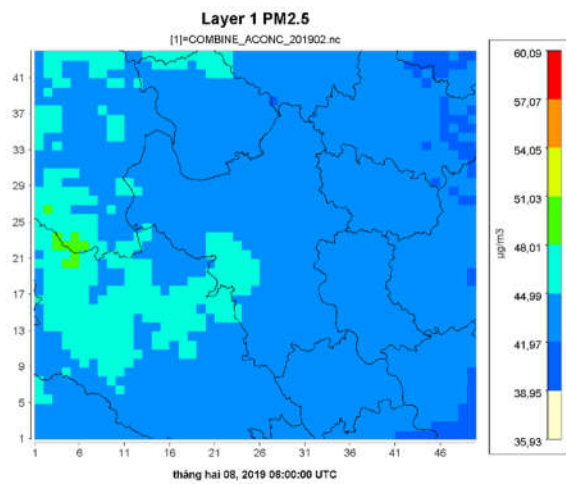
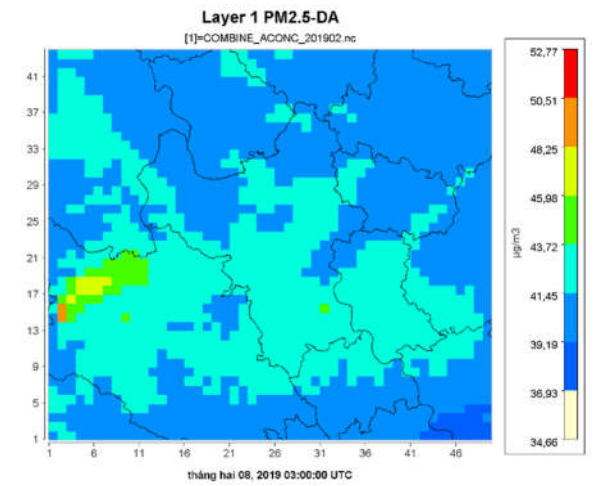
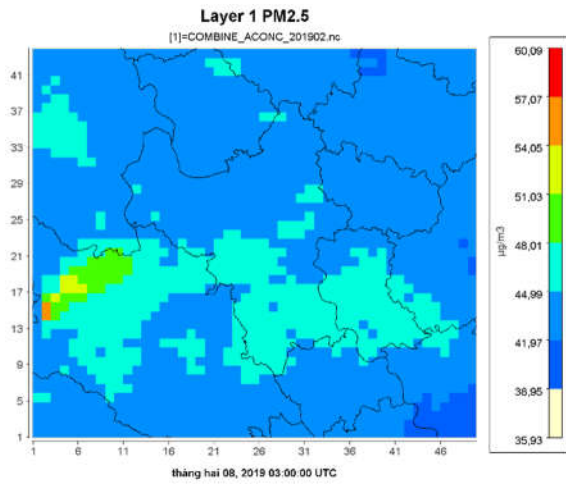
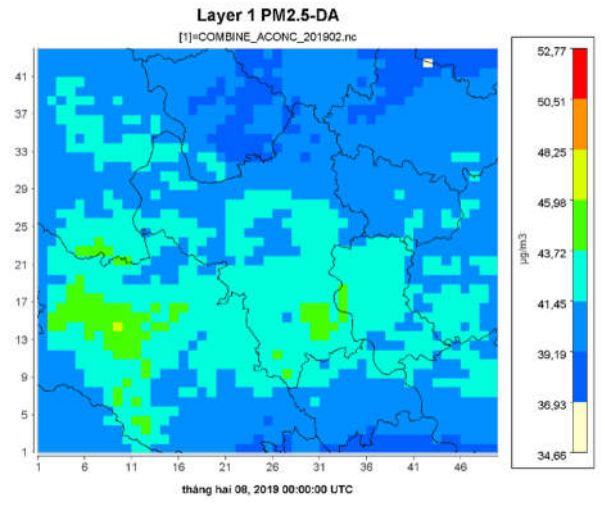
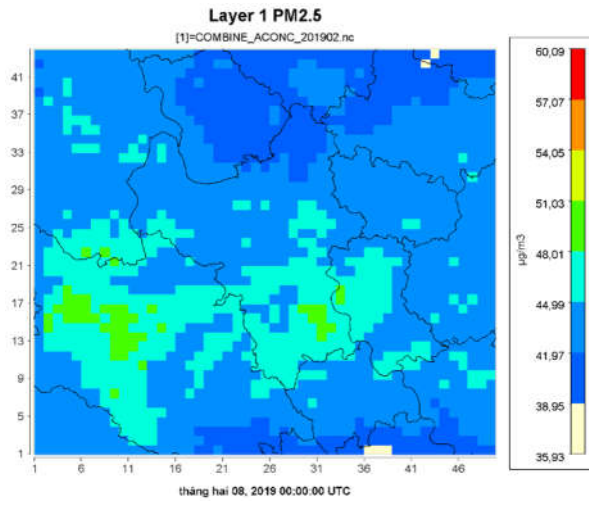
Hình PL.08: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 07/07/2017

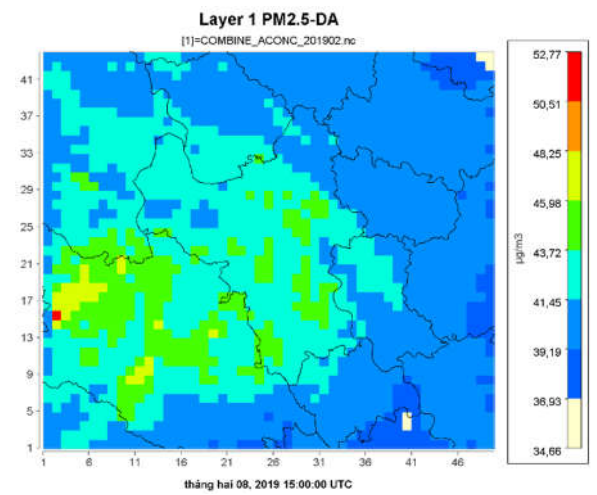
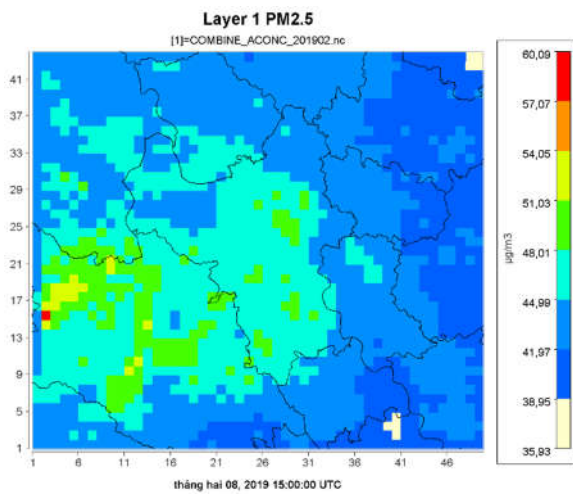
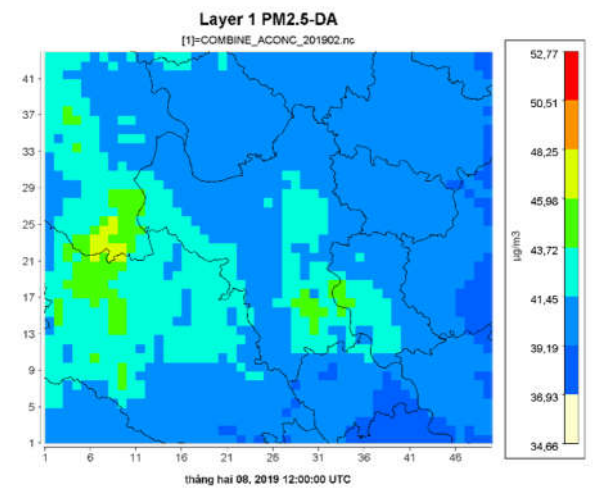
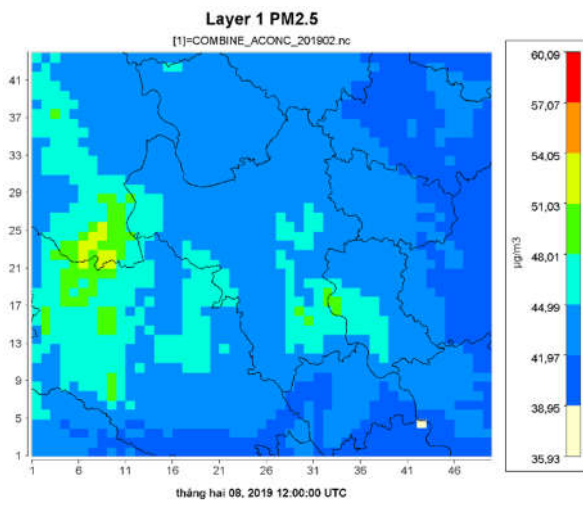
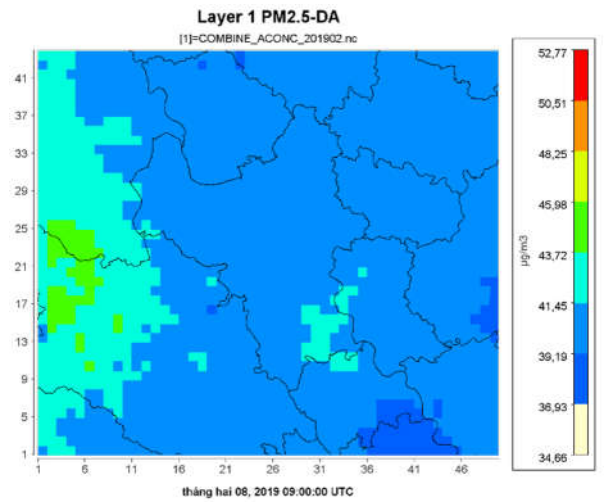
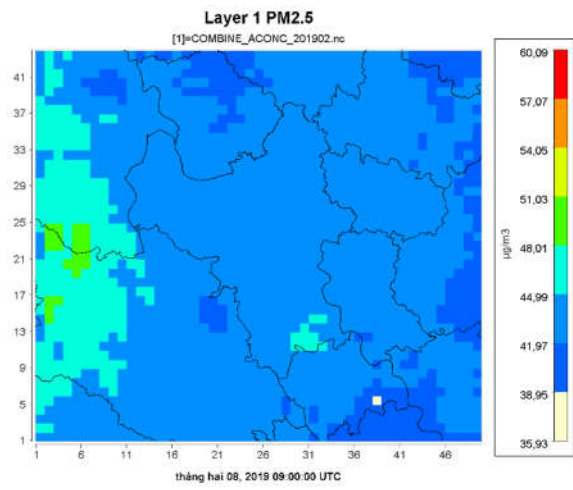


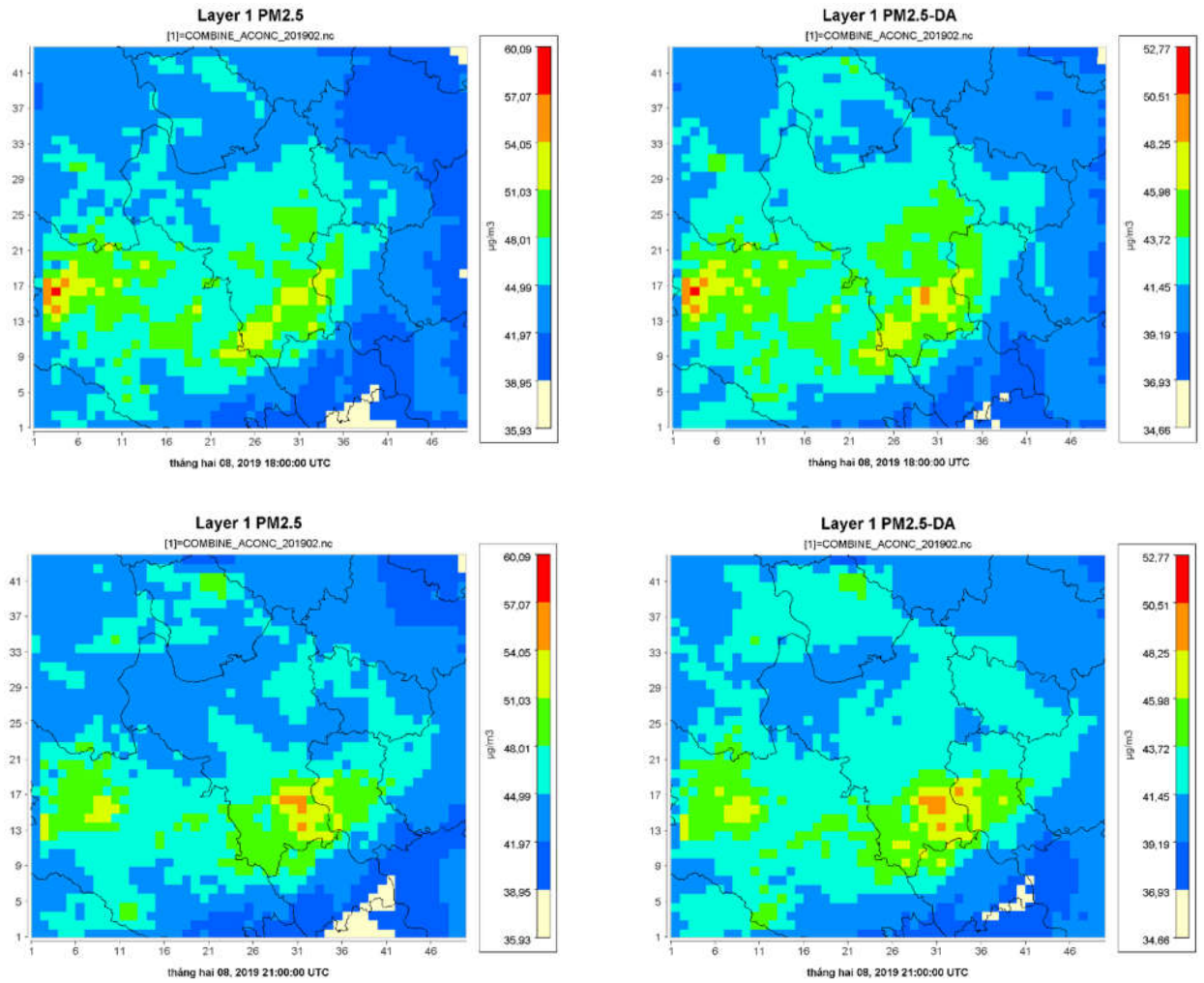




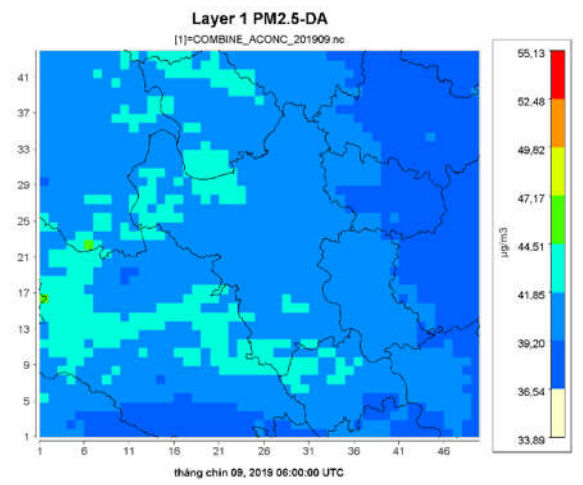
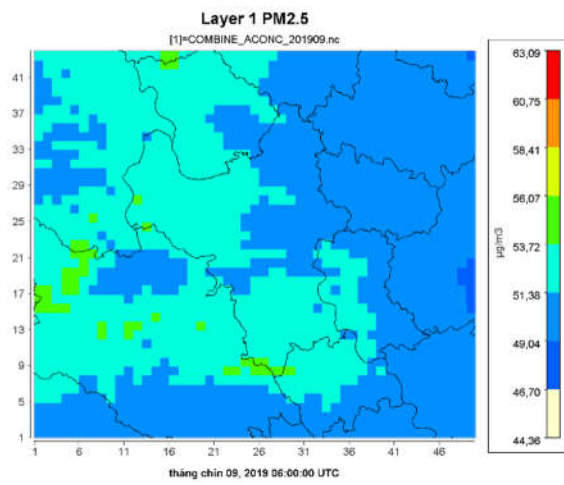
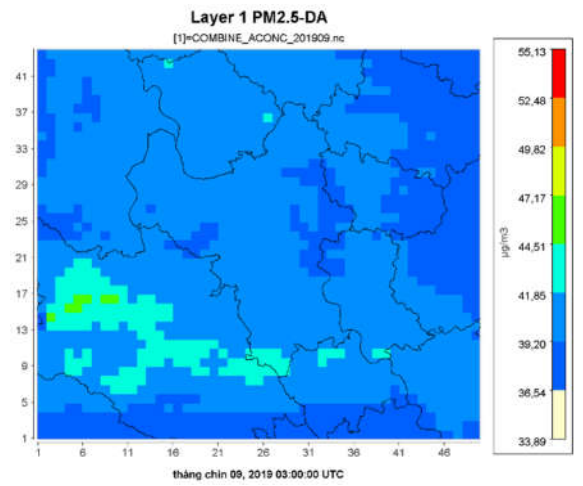
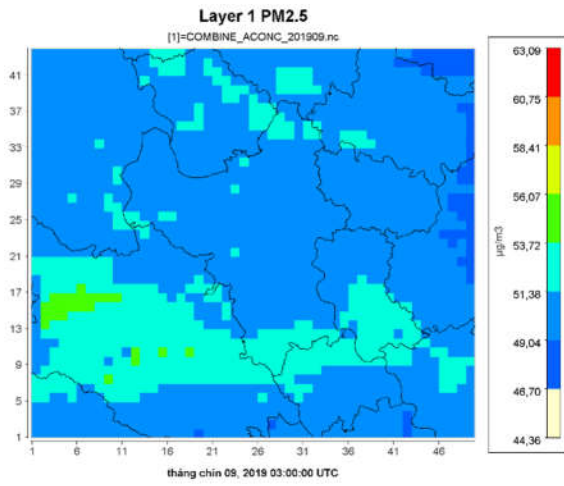
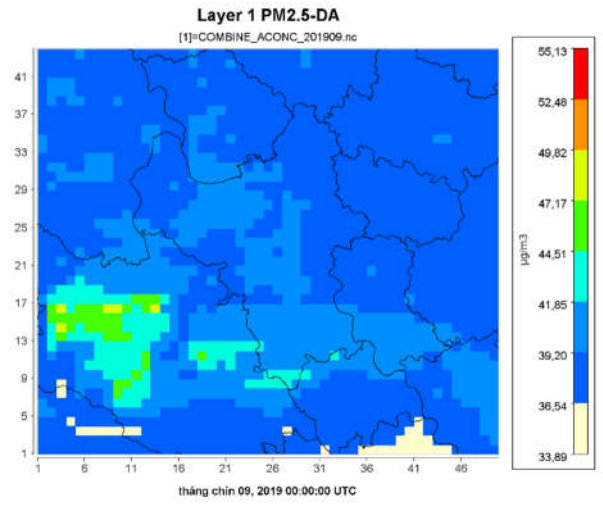
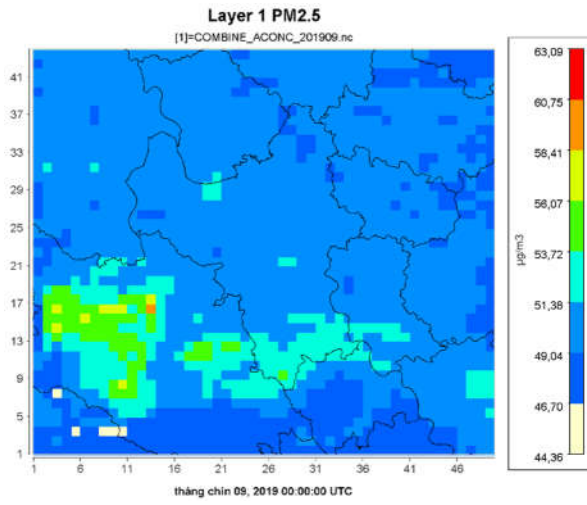
Hình PL.09: Kết quả ước tính nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 09/09/2017

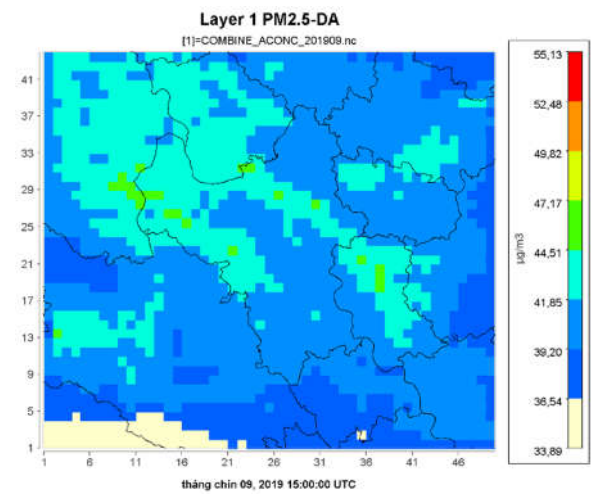
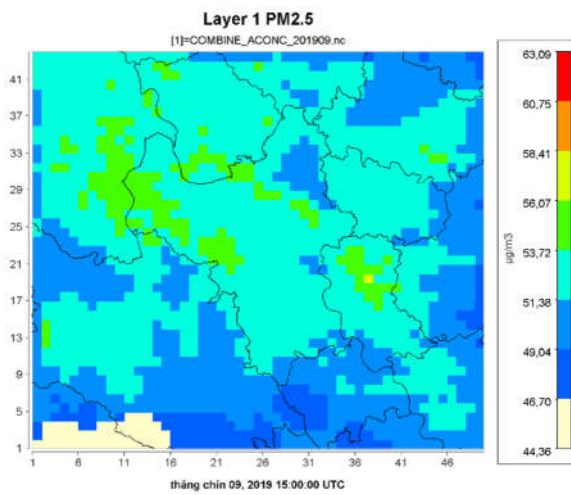
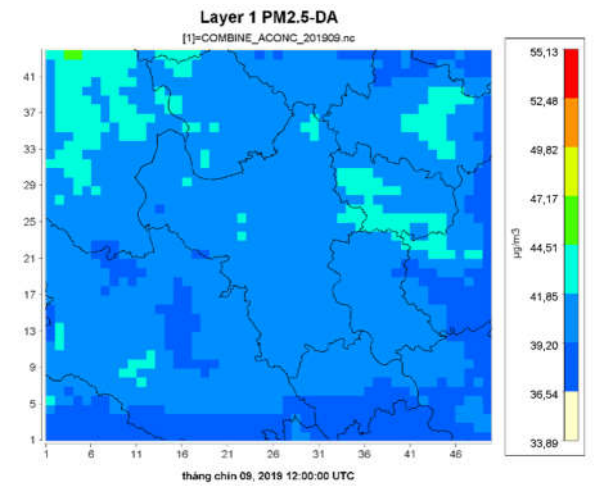
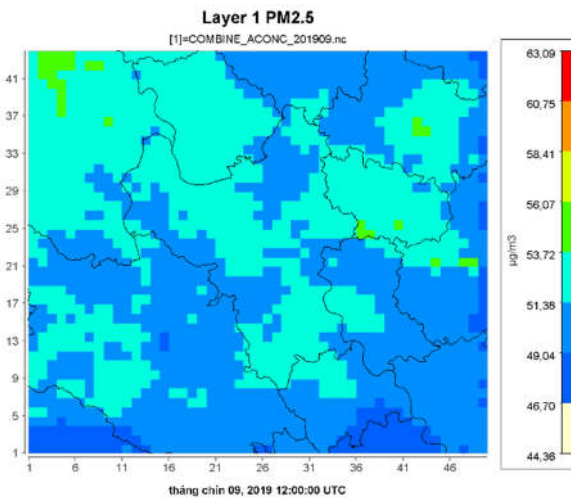
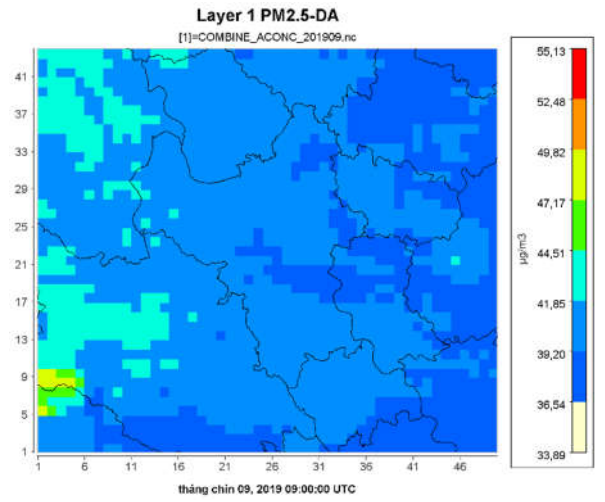
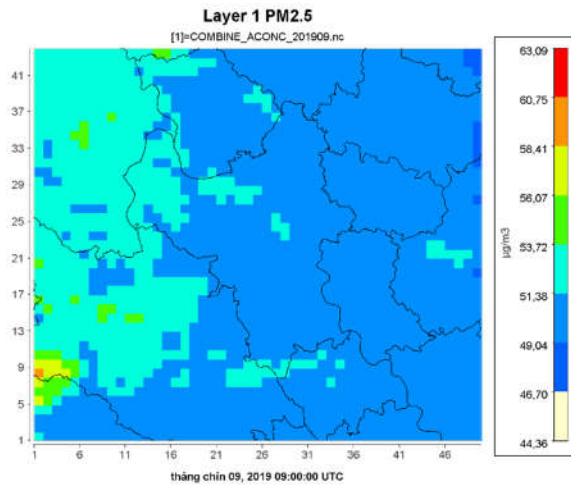


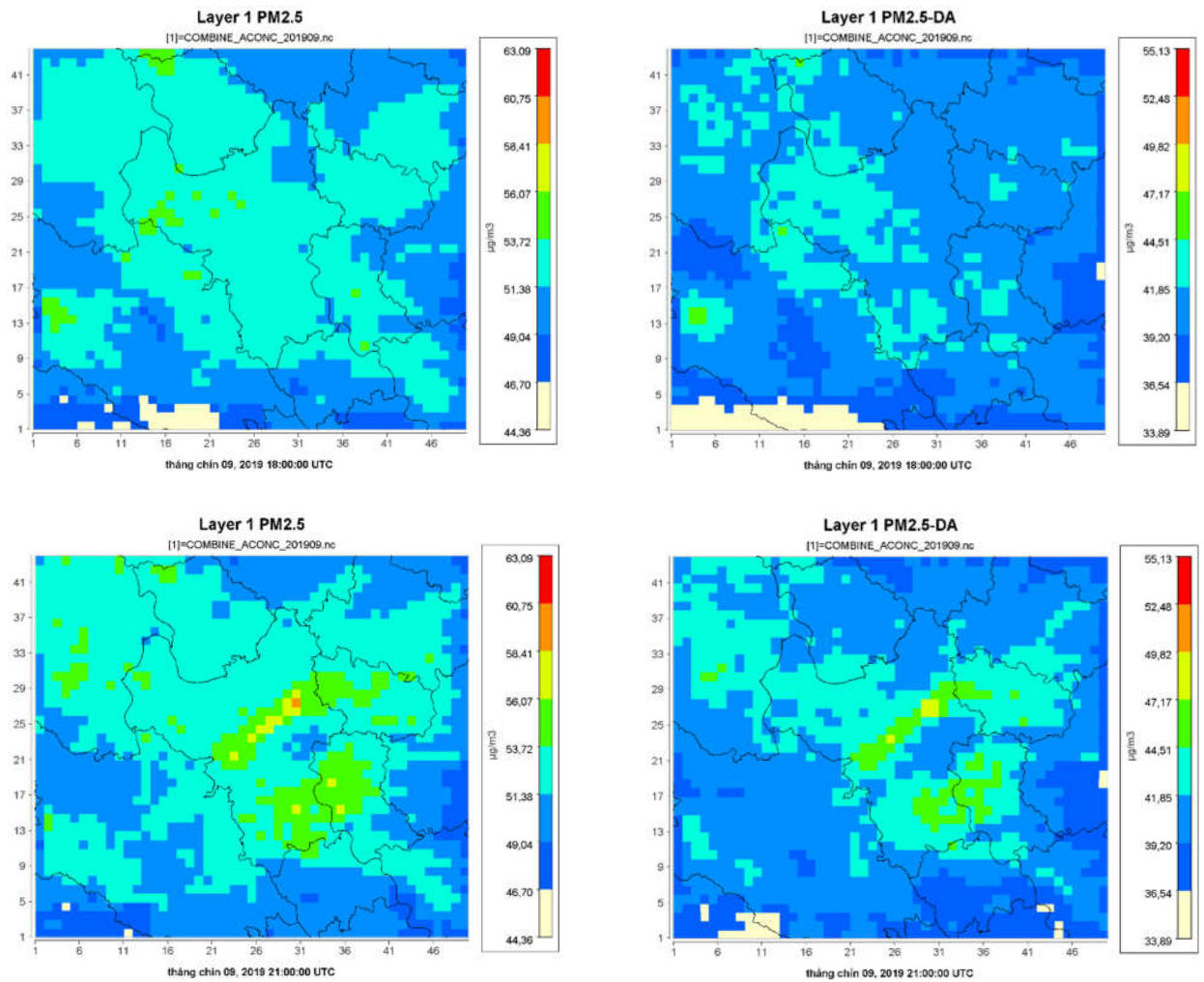




Hình PL.10: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 08/02/2019







Hình PL.11: Kết quả ước tính nồng độ PM_{2.5} trước khi đồng hóa (ảnh trái) và sau khi đồng hóa (ảnh phải) tại 00, 03, 06, 09, 12, 18 và 21 giờ ngày 09/09/2019